



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA.
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN.
INGENIERIA ELÉCTRICA**

“Estudio de pre factibilidad para el mejoramiento del sistema de iluminación en edificio julio padilla de la Universidad Nacional de Ingeniería, aplicando tecnología led con control inteligente.”

AUTORES

Br. Erika Lucia Artola Manzanares.

Br. Manuel Salvador Acosta Icabalzeta

Managua, diciembre del 2018

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Conceptos básicos sobre la iluminación	2
1.1.1. La luz	2
1.1.2. Fundamentos de iluminación	2
1.2. Como se produce la iluminación	3
1.3. Diseño de Iluminación	3
1.4. Eficiencia energética	4
1.4.1. La iluminación eficiente	4
1.5. Parámetros que intervienen en el cálculo de iluminación	5
1.5.1. Flujo luminoso	5
1.5.2. Intensidad luminosa	5
1.5.3. Iluminancia (E)	6
1.5.4. Luminancia (L)	8
1.5.5. Exitancia (M)	9
1.5.6. Sistema Métrico	10
1.5.7. Fotometría	10
1.5.8. Curva de distribución <i>Candlepower</i>	11
1.5.9. Coeficiente de utilización	13
1.5.10. Gráfica <i>Isofootcandle or Isolux</i>	14

2.	MONITOREO O CUANTIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN	15
2.1.	Niveles de iluminación para áreas específicas	15
2.2.	Niveles de iluminación para establecimientos de educativos según la IES (Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Norte América)	15
2.2.1.	Deficiencia en las instalaciones del edificio T- 3	16
2.2.2.	Características del luxómetro marca AEMC <i>intruments</i> modelo CA813	18
2.2.3.	Niveles de iluminación recomendados según IES (Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Norte América)	20
2.3.	Factores fundamentales que se deben tener en cuenta al realizar el diseño de una instalación	27
2.3.1.	Elementos de un sistema de iluminación	28
2.4.	Consideraciones Generales	28
2.4.1.	Norma europea sobre la iluminación para interiores (UNE 12464-1)	29
2.5.	Tipos de alumbrado	31
2.5.1.	Características del tipo de alumbrado general	33
2.5.2.	Características del alumbrado localizado	34
2.5.3.	Características de alumbrado general y localizado	35
2.5.4.	Características del tipo modularizado	36

3.	ELECCIÓN DE FUENTE LUMINOSA	37
3.1.	Lámparas led	37
3.2.	Sistema de iluminación de estado sólido (led)	37
3.3.	Rasgos y ventajas de los led	41
3.4.	Desventajas	43
3.5.	Tubos led MBELT8	43
3.5.1.	Características de la lámpara MBELT8 led	44
4.	ANÁLISIS TÉCNICO	47
4.1.	Método de lúmenes	48
4.1.1.	Datos de entrada	48
4.2.	Alturas de trabajo del edificio T-3 en metros	51
4.3.	Cálculo del índice del local (k) a partir de su geometría	52
4.4.	Cálculo del coeficientes de reflexión de techo, paredes y suelo	58
4.5.	Cálculo del factor de utilización (η , CU)	59
4.6.	Cálculo del factor de mantenimiento (f_m) o conservación de la instalación	65
4.7.	Cálculo del flujo luminoso total	65
4.8.	Cálculo del número de luminarias	71
4.9.	Localización de las luminarias	77
4.10.	Distancia máxima de separación entre las luminarias	83
4.11.	Comprobación de los resultados	84

5.	ANÁLISIS ECONÓMICO	91
5.1.	Costo de cableado por puntos adicionales de Instalación	93
5.2.	Costo por año del consumo de energía	94
5.2.1.	Energía consumida al año en el edificio T-3 con el sistema fluorescente existente	95
5.2.2.	Energía consumida al año en el edificio T-3 con el sistema led	95
5.3.	Resumen del análisis técnico económico de los sistemas de iluminación para el edificio T-3	96
	CONCLUSIONES	99
	RECOMENDACIONES	101
	BIBLIOGRAFÍA	103
	ANEXOS	105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Gráfica de intensidad luminosa	6
2.	Iluminancia que incide sobre un área	8
3.	Gráfica de luminancia o brillantes	9
4.	Curva de distribución <i>candlepower</i>	12
5.	Gráfica de <i>isofootcandle</i>	14
6.	Especificaciones luxómetro CA813	19
7.	Sistema de control y regulación	28
8.	Alumbrado general	31
9.	Alumbrado localizado	32
10.	Alumbrado general y localizado	32
11.	Alumbrado modularizado	33
12.	Esquema de un sistema de iluminación de estado sólido led	38
13.	Dirección de una fuente de luz, a) fluorescente, b) y c) led	40
14.	Modelo MBEL T-8, 18 W	45
15.	Flujo luminoso total que incide sobre una superficie	47
16.	Diagrama de bloques método de lúmenes	48
17.	Altura del plano de trabajo	49
18.	Altura de suspensión de luminaria	51
19.	Altura plano de trabajo	52
20.	Factor de utilización	59
21.	Número de luminarias a lo largo y ancho	77
22.	Ángulo de apertura del haz	83

TABLAS

I.	Coeficiente de utilización	13
II.	Medidas en luxes	17
III.	Categorías de iluminación en rangos <i>lux/footcandle</i>	20
IV.	Categorías de iluminación	20
V.	Niveles de iluminación para áreas de trabajo	29
VI.	Especificaciones tubo MBEL-EW-T8-18W	45
VII.	Especificaciones del modelo MBEL T-8, 18 W	46
VIII.	Categoría de iluminación en rangos <i>lux/footcandle</i>	50
IX.	Categoría de rangos E, en <i>lux/footcandle</i>	50
X.	Índice del local (k) para nivel cero	53
XI.	Índice de local (k) para el primer nivel	54
XII.	Índice del local (k) para el segundo nivel	55
XIII.	Índice de local (k) para el tercer nivel	56
XIV.	Índice de local (k) para el cuarto nivel	57
XV.	Factor de reflexión de techo, paredes y suelo	58
XVI.	Factor de utilización (n) para el nivel cero	60
XVII.	Factor de utilización (n) para el primer nivel	61
XVIII.	Factor de utilización (n) para el segundo nivel	62
XIX.	Factor de utilización (n) para el tercer nivel	63
XX.	Factor de utilización (n) para el cuarto nivel	64
XXI.	Factor de mantenimiento	65
XXII.	Flujo luminoso total para el nivel cero	66
XXIII.	Flujo luminoso total para el primer nivel	67
XXIV.	Flujo luminoso total para el segundo nivel	68
XXV.	Flujo luminoso total para el tercer nivel	69
XXVI.	Flujo luminoso total para el cuarto nivel	70
XXVII.	Número de luminarias para el nivel cero	72

XXVIII.	Número de luminarias para el primer nivel	73
XXIX.	Número de luminarias para el segundo nivel	74
XXX.	Número de luminarias para el tercer nivel	75
XXXI.	Número de luminarias para el cuarto nivel	76
XXXII.	Número de luminarias a lo largo y ancho para los salones del nivel cero	78
XXXIII.	Número de luminarias a lo largo y ancho para los salones del primer nivel	79
XXXIV.	Número de luminarias a lo largo y ancho para los salones del segundo nivel	80
XXXV.	Número de luminarias a lo largo y ancho para los salones del tercer nivel	81
XXXVI.	Número de luminarias a lo largo y ancho para los salones del cuarto nivel	82
XXXVII.	Resumen sobre la separación entre luminarias	84
XXXVIII.	Comprobación de resultados para el nivel cero	85
XXXIX.	Comprobación de resultados para el primer nivel	86
XL.	Comprobación de resultados para el segundo nivel	87
XLI.	Comprobación de resultados para el tercer nivel	88
XLII.	Comprobación de resultados para el cuarto nivel	89
XLIII.	Costo por cableado de luminarias adicionales a las existentes en el T-3	93
XLIV.	Horas/año de consumo de energía del T-3	94
XLV.	Resumen análisis técnico económico de los dos sistemas de iluminación	96

GLOSARIO

Eficiencia energética	Es la obtención de los mismos bienes y servicios energéticos, pero con mucha menos energía, con la misma o mayor calidad de vida, con menos contaminación, a un precio inferior al actual, alargando la vida de los recursos y con menos conflicto.
Flujo luminoso	El flujo luminoso es la cantidad de luz que fluye en un determinado tiempo. Y es medido en lúmenes.
Fotometría	Disciplina que define cualquier información de prueba que describa las características de la salida de luz de una luminaria.
Iluminancia	Es la cantidad de luz que incide en la unidad de área y es medida en Footcandles (pies candela) o luxes.
Intensidad luminosa	Describe la cantidad de luz (lúmenes) en una unidad de ángulo sólido. Esta unidad de ángulo sólido se llama Steradian.

IP	Es un estándar que clasifica el nivel de protección que provee una aplicación eléctrica contra contactos accidentales.
Led	De la sigla inglesa <i>led: Light-Emitting Diode</i> : diodo emisor de luz. Es un diodo semiconductor que emite luz.
Lumen	Es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa percibida.
Luminaria	Dispositivo que sirve para aumentar el flujo luminoso, evitar el deslumbramiento y viene condicionada por el tipo de iluminación y fuente de luz escogida.
Luxómetro	Es un instrumento de medición que permite medir simple y rápidamente la iluminancia real y no subjetiva de un ambiente. La unidad de medida es lux (<i>lx</i>).
Watts	El vatio (en inglés: watt) es la unidad de potencia del Sistema Internacional de Unidades. Su símbolo es W. Es el equivalente a 1 julio sobre segundo (1 J/s)

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se realiza un estudio técnico-económico completo del nivel de iluminación del edificio julio padilla de la Universidad Nacional de Ingeniería fue un trabajo laborioso, que comenzó comprobando el nivel de iluminación existente, seguido de la elección de un método de cálculo de iluminación aplicable a interiores con la finalidad de asegurar una visión confortable, adecuada y segura según las normas existentes.

Dicho estudio se realiza basado en las normas americanas utilizando el método de cálculo de los *watts* por metro cuadrado, éste es un método estimativo empleado cuando se requiere tener una idea de la carga, número de luminarias necesarias para un proyecto o anteproyecto dado.

Además, aprovechando el avance tecnológico, se enfocará dicho estudio a la iluminación con tecnología led, debido a las ventajas que esta tecnología presenta frente a muchas otras, así mismo se colabora con el medio ambiente ya que la tecnología tipo led está fabricada con materiales no tóxicos y reciclables.

El estudio económico comprende un análisis de resultados que determina el costo anual aproximado de energía pagado con el sistema de iluminación existente y el costo anual de energía proyectado con luminarias led. Así como el total en córdobas de la inversión inicial requerida para la implementación de este nuevo sistema de iluminación led.

OBJETIVOS

Objetivo general

Elaborar estudio de pre factibilidad para el mejoramiento del sistema de iluminación en edificio julio padilla de la Universidad Nacional de Ingeniería, aplicando tecnología led con control inteligente.

Objetivos específicos

Realizar diagnóstico de la situación actual del sistema de iluminación del edificio Julio Padilla.

Elaborar un estudio técnico referente a la aplicación led con control inteligente en el edificio Julio Padilla de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Determinar la factibilidad de la implementación de tecnología led con control inteligente en el edificio Julio Padilla mediante una evaluación financiera.

Evaluar los posibles impactos generados con la implementación de la tecnología led con control inteligente en el edificio Julio Padilla.

INTRODUCCIÓN

Un buen sistema de iluminación¹ proporciona a las personas un ambiente agradable y reconfortable, es decir un confort que les permite seguir sus actividades sin demandar de ellos un esfuerzo visual, reduciendo su cansancio y los dolores de cabeza producidos por una iluminación ineficiente.

La necesidad de elevar el nivel de eficiencia energética en el edificio Julio Padilla de la Universidad Nacional de Ingeniería, motiva a implementar una nueva tecnología. En este caso la llamada iluminación led, que afirma un mayor ahorro energético que el resto de tecnologías utilizadas en la actualidad.

La tecnología led está reemplazando a las fluorescentes en oficinas y otros espacios de edificios, porque reporta beneficios energéticos, económicos y ambientales.

Para elegir la tecnología de iluminación eficiente, se debe respaldar en un estudio técnico adecuado y un análisis que verifique la eficiencia de esta nueva tecnología y si además provee mayores o iguales beneficios económicos.

En el presente trabajo se realizará un estudio de pre factibilidad para la implementación de la tecnología led en el sistema de iluminación de edificio Julio Padilla de la Universidad Nacional de Ingeniería, que comenzará comprobando el nivel de iluminación existente, seguido de un método de cálculo de iluminación aplicable a interiores con la finalidad de asegurar una visión confortable, adecuada y segura, según las normas existentes.

El estudio técnico se realiza basado en las normas americanas utilizando el método de cálculo de los lúmenes, éste es un método estimativo empleado cuando se requiere tener una idea de la carga, número de luminarias necesarias para un proyecto o anteproyecto dado.

Además, aprovechando el avance tecnológico, se enfocará dicho estudio a la iluminación con tecnología led, debido a las ventajas que esta tecnología presenta frente a muchas otras, así mismo se colabora con el medio ambiente,

¹ Ley 618 (Ley general de higiene y seguridad del trabajo) y Norma CIEN (Código de Instalaciones Eléctricas de Nicaragua)

ya que la tecnología tipo led está fabricada con materiales no tóxicos y reciclables.

El estudio financiero comprende un análisis de resultados que determina el costo anual en córdobas aproximado de energía con el sistema de iluminación existente y el costo anual en córdobas de energía proyectado con luminarias led. Así como el total en córdobas de la inversión inicial requerida para la implementación de este nuevo sistema de iluminación led.

1. MARCO TEÓRICO

Es bien sabido que la iluminación del edificio julio padilla de la Universidad Nacional de Ingeniería, no llena las expectativas que los docentes y estudiantes requieren para la tarea específica de enseñanza y aprendizaje, por lo que se pretende realizar un estudio de pre factibilidad completo del nivel de iluminación necesario para estas tareas. Además, aprovechando el avance tecnológico se enfoca dicho estudio a la iluminación con tecnología led, debido a las ventajas que esta tecnología presenta frente a muchas otras, como lo es la eficiencia, vida útil y ahorro de energía, así mismo para contribuir con el medio ambiente.

Las luminarias (generalmente colocadas simétricamente) que proporcionan un nivel de iluminación razonablemente uniforme a toda una zona constituyen un sistema de alumbrado general. Un buen sistema de alumbrado general hace posible el desplazamiento de las personas y equipo, así mismo permiten la utilización total de la superficie de suelo.

Cierto tipo de tareas pueden realizarse suficientemente bien, sólo mediante un buen sistema de alumbrado general, mientras otros requieren un alumbrado suplementario en máquinas determinadas o en lugares de trabajo, incluso cuando se suministra luz localizada para una tarea determinada, se requiere por razones de seguridad un sistema de alumbrado especial, como también para mantener relaciones razonables de brillo en toda el área.

La provisión de una buena visibilidad es una exigencia fundamental del alumbrado, pero también es importante que éste sea confortable.

Estas dos condiciones son frecuentes, aunque no siempre cumplidas por las mismas características del sistema, por ejemplo, aumentando el tamaño y reduciendo el brillo de las luminarias casi siempre se mejora el *confort* visual y la visibilidad de objetos especulares, sin embargo, es posible que se mejore la visibilidad de objetos difusos tridimensionales. La comodidad visual es una función de las condiciones visuales de todos los alrededores y puede controlarse mediante una selección cuidadosa de las luminarias.

1.1. Conceptos básicos sobre la iluminación

A continuación se presentan los términos básicos sobre la iluminación.

1.1.1. La luz

Es una forma particular y concreta de energía que se desplaza o propaga, no a través de un conductor (como la energía eléctrica o mecánica) sino por medio de radiaciones, es decir, de perturbaciones periódicas del estado electromagnético del espacio; es lo que se conoce como energía radiante.

1.1.2. Fundamentos de iluminación

La luz es un componente esencial en cualquier medio ambiente ya que hace posible la visión del entorno, además al interactuar con los objetos y el sistema visual de los usuarios, puede modificar la apariencia del espacio, influir sobre su estética, ambientación, afectar el rendimiento visual, estado de ánimo y motivación de las personas.

El diseño de iluminación requiere comprender la naturaleza (física, fisiológica y psicológica) de esas interacciones y además, conocer y manejar los métodos y la tecnología para producirlas, fundamentalmente demanda una fuerte dosis de intuición y creatividad para utilizarlas.

La iluminación se define como luz incidiendo sobre una superficie, medida en luxes o *footcandles*. Cuando ésta se distribuye de acuerdo a un plan técnico económico, se convierte en Ingeniería de iluminación y por lo tanto, en iluminancia práctica.

1.2. Cómo se produce la iluminación

Si una corriente eléctrica pasa a través de cualquier conductor que no sea perfecto, se gasta una determinada cantidad de energía en el conductor que aparece en forma de calor. Por cuanto cualquier cuerpo caliente despedirá una cierta cantidad de luz a temperaturas superiores a los 525 °C, un conductor que se calienta por encima de dicha temperatura mediante una corriente eléctrica actuará como fuente luminosa.

1.3. Diseño de iluminación

Visto desde una perspectiva general el diseño de iluminación puede definirse como la búsqueda de soluciones que permitan optimizar la relación entre el usuario y su medio ambiente. Esto implica tener en cuenta diversos aspectos interrelacionados y la integración de técnicas, resultados, metodologías y enfoques de diversas disciplinas y áreas del conocimiento, como la física, la ingeniería de edificios, la arquitectura, el gerenciamiento energético y ambiental, la psicología, la medicina, el arte, etc.

Por ello, la solución a una demanda específica de iluminación debe ser resuelta en un marco interdisciplinario.

1.4. Eficiencia energética

La eficiencia energética del sistema de iluminación depende tanto de la eficiencia de la instalación como de su uso.

- Eficiencia de la instalación, implica el uso de lámparas, equipos auxiliares y luminarias de alto rendimiento, para lograr las condiciones de iluminación deseadas. Dicha eficiencia también depende del diseño de la instalación y del espacio donde esté colocado.
- Eficiencia en el uso, depende de la posibilidad de reducir el consumo energético de las instalaciones, mediante el aprovechamiento de la luz natural y también utilizando un sistema de control que apague las luces cuando el espacio se encuentra desocupado.

1.4.1. La iluminación eficiente

No hace mucho, el diseño de iluminación, implicaba suministrar luz en cantidades apropiadas a fin de posibilitar la realización de las tareas con alto rendimiento visual. El aspecto cualitativo se limitaba, eventualmente, a eliminar o reducir posibles efectos de deslumbramiento. Sin embargo, el descubrimiento de que la luz no sólo afecta las capacidades visuales de las personas sino también su salud y bienestar, por un lado, el vertiginoso desarrollo tecnológico de fuentes luminosas, dispositivos ópticos y sistemas de control y la necesidad de utilizar los recursos energéticos de manera más eficiente le dieron al concepto de diseño un perfil notablemente más cualitativo.

Teniendo en cuenta ese nuevo enfoque, se puede decir que un sistema de iluminación eficiente es aquel que además de satisfacer necesidades visuales, crea también ambientes saludables, seguros y confortables, posibilita a los usuarios disfrutar de atmósferas agradables, emplea apropiadamente los recursos tecnológicos (fuentes luminosas, luminarias, sistemas ópticos, equipos de control, etc.), hace un uso racional de la energía para contribuir a minimizar el impacto ecológico y ambiental; todo esto por supuesto, dentro de un marco de costos razonable que no solamente debe incluir las inversiones iniciales sino también los gastos de operación y mantenimiento.

1.5. Parámetros que intervienen en el cálculo de iluminación

Los parámetros que intervienen en el cálculo de la iluminación se numeran a continuación.

1.5.1. Flujo luminoso

El flujo luminoso es la cantidad de luz que fluye en un determinado tiempo y es medido en lúmenes. Es una medida del total de la luz emitida por una fuente y es comúnmente usada para determinar la salida total del flujo luminoso de una lámpara.

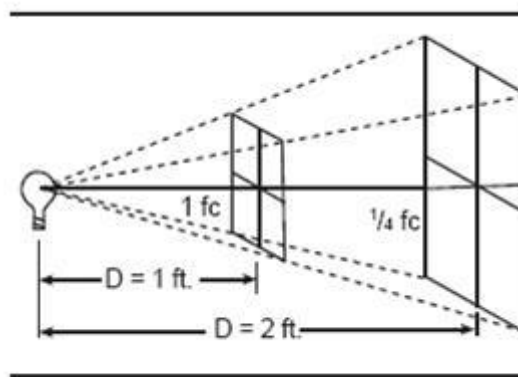
1.5.2. Intensidad luminosa

La candela es la unidad de intensidad (I) y es análoga a la presión en un sistema hidráulico. A veces es llamada *candlepower* (potencia en candelas) y describe la cantidad de luz (lúmenes) en una unidad de ángulo sólido. Esta unidad de ángulo sólido se llama *Steradian*.

Se observará en la figura 1 que mientras la luz se aleja de la fuente, el ángulo sólido cubre un área más y más grande; pero el ángulo permanece igual, así como la cantidad de luz que contiene. Por lo tanto, la intensidad en una dirección dada es constante independientemente de la distancia.

$$I = \frac{\text{(Lúmenes)}}{\text{(steradians)}} \quad (1)$$

Figura 1. **Gráfica de intensidad luminosa**



Fuente: Holophane. Principios de iluminación, p. 5.

1.5.3. Iluminancia (E)

La iluminancia es la cantidad de luz que incide en la unidad de área y es medida en *footcandles* (pies candela) o luxes. Es definida por la intensidad (I) en candelas, dirigida hacia un punto P, dividida por el cuadrado de la distancia (D) de la fuente (luminaria) a la superficie a iluminar.

$$E = \frac{I}{D^2} \quad (2)$$

Donde:

E = Iluminancia

I = intensidad en candelas

D = distancia de la luminaria a la superficie a iluminar

A medida que el área cubierta por un ángulo sólido dado, se hace más grande por el incremento de la distancia desde la fuente, el flujo de luz permanece constante. La densidad de iluminación de la luz en la superficie disminuye, tanto como el inverso de la distancia al cuadrado. Esta fórmula es válida sólo si la superficie receptora es perpendicular a la dirección de la fuente. Si la luz incide en otro ángulo, la fórmula se transforma en:

$$E = \frac{I \cos \varnothing}{D^2} \quad (3)$$

Donde:

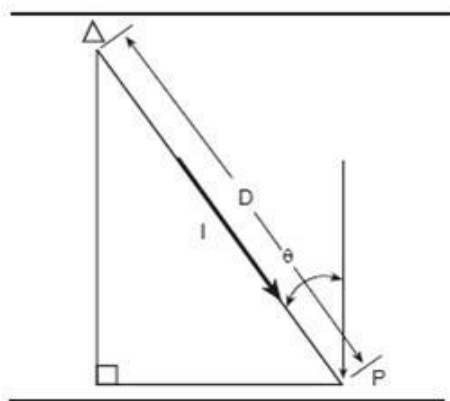
E = iluminación en *Footcandles* (fc) o luxes

I = intensidad en candelas (cd) hacia el punto P

D = distancia en pies o metros

\varnothing = ángulo de incidencia

Figura 2. **Iluminancia que incide sobre un área**



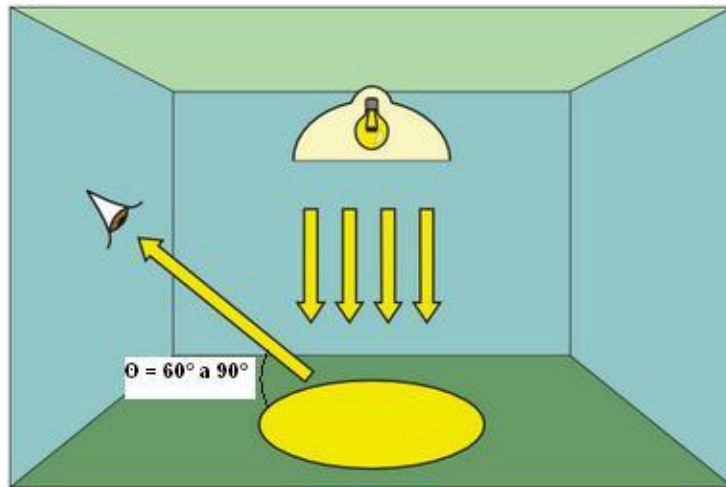
Fuente: Holophane. Principios de iluminación, p. 5.

1.5.4. **Luminancia (L)**

La luminancia, frecuentemente llamada brillantez, es el nombre dado a lo que vemos. La brillantez es una sensación subjetiva que varía de muy tenue u oscuro a muy brillante. De una forma objetiva, se refiere a ella como la intensidad en una dirección dada dividida por un área proyectada tal como la ve un observador. Se hace referencia a la luminancia de dos maneras, ya sea relacionada a una luminaria o a una superficie.

La luminancia directa o brillantez de las luminarias a varios ángulos de visión es un factor primordial en la evaluación de confort visual de una instalación que use estas luminarias. En general, es deseable minimizar la brillantez de luminarias con la altura de montaje, en los ángulos verticales de 60° a 90° como lo muestra la figura 3. Cuando la intensidad está en candelas, y el área proyectada está en metros, la unidad de luminancia es candelas por metro cuadrado (cd/m^2).

Figura 3. **Luminancia o brillantes**



Fuente: Halophane. Principios de iluminación, p. 6.

1.5.5. **Exitancia (M)**

Es frecuente calcular la cantidad de luz reflejada en las superficies del cuarto; muchas de estas superficies son difusas y como resultado el término correcto a usar es Exitancia (M), donde:

Exitancia = iluminancia x factor de reflexión

$$M = E \times p$$

Donde:

E = Iluminancia en *footcandles* o luxes.

p = Es el factor de reflexión de la superficie expresado como la fracción de luz reflejada sobre la luz incidente.

M = Es la exitancia resultante en *footcandles* o luxes.

1.5.6. Sistema métrico

A medida que EE. UU. tienda al sistema métrico para concordar con el área científica y el resto del mundo, la ingeniería de iluminación se convertirá al sistema internacional de unidades (SI); sólo los términos que involucren longitud o área, iluminancia y luminancia, son afectados. La iluminancia (E) se establece en lux en el sistema métrico.

1 fc = 10.76 luxes.

1.5.7. Fotometría

El término fotometría se usa para definir cualquier información de prueba que describa las características de la salida de luz de una luminaria. El tipo más común de información fotométrica incluye las curvas de distribución *candlepower* (candelas), criterios de espaciamiento, eficiencia del luminaria, curvas *isofootcandle* o isolux, coeficiente de utilización e información de luminancia.

El propósito de la fotometría es describir con exactitud el rendimiento de una luminaria para permitir al diseñador, seleccionar el equipo de iluminación y diseñar una distribución de luminarias que mejor cubra las necesidades del trabajo. A continuación se revisan los tipos de información fotométrica más utilizados.

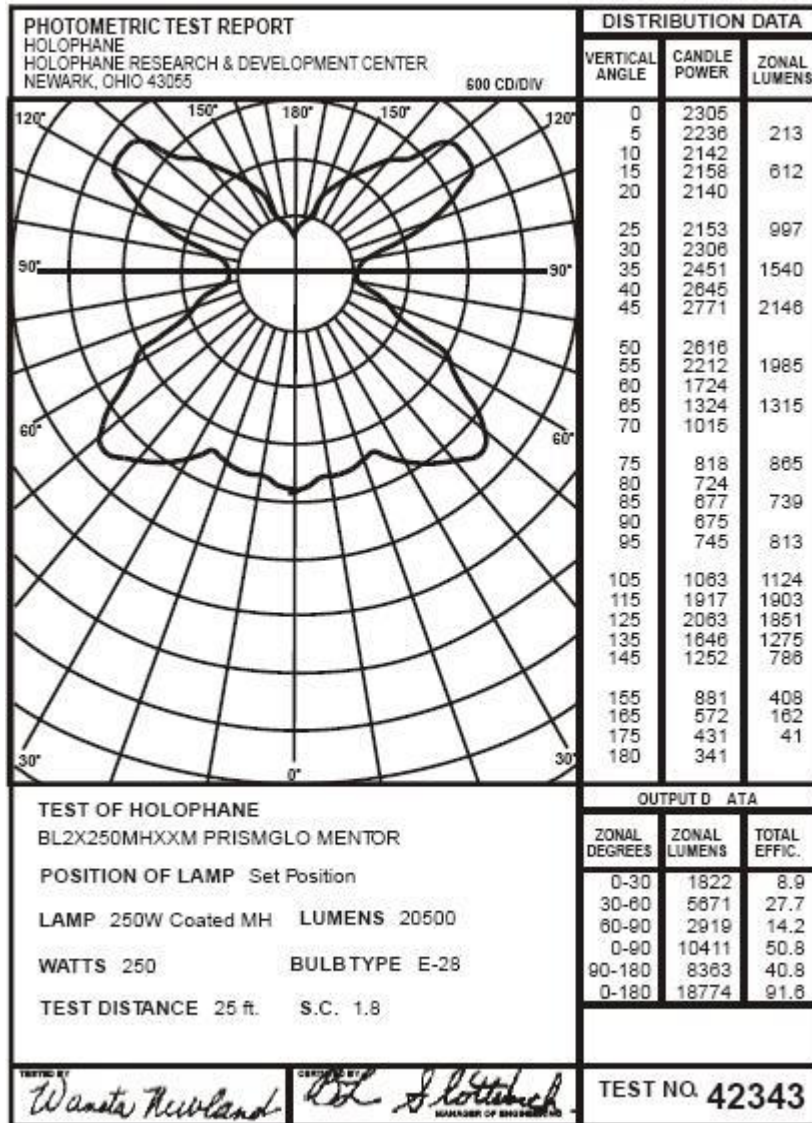
1.5.8. Curva de distribución *candlepower*

La curva de distribución fotométrica es una de las herramientas más valiosas de los diseñadores de iluminación. Es un corte mapa vertical de intensidad (candelas), medidas en diferentes ángulos.

Es una representación gráfica en forma polar y por lo tanto muestra la información sólo para un plano. Si la distribución del flujo emitido por la luminaria es simétrica, la curva en un plano es suficiente para todos los cálculos.

Si es asimétrica, tal como la iluminación en calles y las unidades fluorescentes, se requieren tres o más planos de medición. En general, las luminarias incandescentes y las luminarias de descarga de alta intensidad (HID) son descritas por un plano vertical único de fotometría. Las luminarias fluorescentes requieren un mínimo de tres planos: uno a través del eje longitudinal de la luminaria, otro en el sentido transversal y otro en un ángulo de 45°. A mayor separación de la simetría, más son los planos que se necesitan para lograr cálculos exactos.

Figura 4. Curva de distribución *Candlepower*



Fuente: Holophane. Principios de iluminación, p. 17.

1.5.9. Coeficiente de utilización

El coeficiente de utilización se refiere al número de lúmenes que finalmente alcanzan el plano de trabajo en relación a los lúmenes totales generados por la lámpara. Los valores de CU son necesarios para calcular los niveles de iluminancia promedio y son provistos de dos maneras; una tabla de CU o una curva de utilización; por lo general, la curva de utilización se provee para luminarias de uso exterior o unidades con una distribución asimétrica.

La tabla 1 de CU se provee para luminarias que se usan principalmente en interiores con curva de distribución simétrica, donde se aplica el método de lumen (cavidad zonal). El uso de la información de CU se discutirá en la sección que cubre los métodos de cálculo.

Tabla I. Coeficiente de utilización

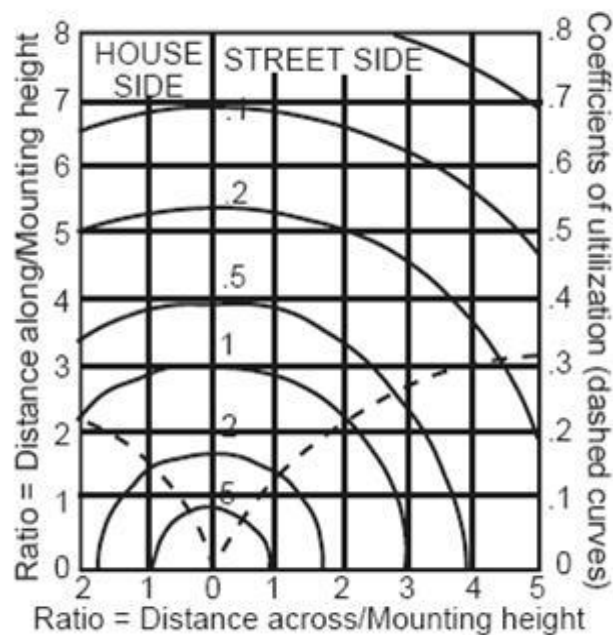
	RCR	pfc 20%											
		pcc 80%			70%			50%					
		cw 50%			30%			10%					
		50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	0%
	0	.99	.99	.99	.92	.92	.92	.79	.79	.79			
	1	.85	.80	.77	.78	.75	.72	.67	.64	.62			
	2	.73	.67	.61	.68	.62	.57	.58	.54	.50			
	3	.63	.56	.50	.59	.52	.47	.50	.45	.41			
	4	.56	.48	.42	.52	.45	.39	.44	.39	.34			
	5	.49	.41	.35	.46	.38	.33	.39	.33	.29			
	6	.44	.36	.30	.41	.33	.28	.35	.29	.25			
	7	.39	.31	.26	.36	.29	.24	.31	.26	.22			
	8	.35	.28	.23	.33	.26	.21	.28	.23	.19			
	9	.32	.25	.20	.30	.23	.19	.26	.20	.17			
	10	.29	.22	.18	.27	.21	.17	.24	.18	.15			

Fuente: Holophane. Principios de iluminación, p. 17.

1.5.10. Gráfica *isofootcandle* or *isolux*

Las gráficas *isofootcandle* se usan frecuentemente para describir el patrón de luz cuando una luminaria produce una distribución no simétrica. Estas tablas se derivan de la información *candlepower* y muestran gráficas o líneas de igual valor en luxes o *footcandles* en el plano de trabajo, cuando la luminaria está en la altura de montaje designado. El uso de tablas *isolux* o *isofootcandle*, para determinar la iluminancia en puntos designados será discutido en la sección de cálculos.

Figura 5. Gráfica de *isofootcandle*



Fuente: Holophane. Principios de iluminación, p. 17.

2. MONITOREO O CUANTIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN

Existen varios métodos para el cálculo de iluminación, tanto para interiores como para exteriores. En nuestro caso se verá el método de cálculo de los watts por metro cuadrado aplicables en interiores, este es un método estimativo empleado cuando se requiere tener una idea de la carga, número de luminarias necesarias para un proyecto o ante proyecto dado. La finalidad es determinar el número de luminarias requeridas para obtener el nivel de iluminación adecuado a las actividades a realizarse en el salón a considerar.

2.1. Niveles de iluminación para áreas específicas

Frecuentemente los niveles de iluminación son altos en áreas comunes como para áreas específicas. Conviene comprobar los niveles mediante el uso de un luxómetro y compararlo con las tablas de Sociedad de Ingenieros Eléctricos de los Norte América (IES), para los diferentes oficios de tipo industrial, comercial y recreativo, con el fin de asegurar una visión confortable, adecuada y segura.

2.2. Niveles de iluminación para establecimientos educativos según la Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Norte América (IES)

Las instalaciones de iluminación de las distintas dependencias que componen un centro educativo, deben estar dotadas de sistemas que proporcionen un entorno visual confortable y eficiente, según las diferentes tareas y actividades que se desarrollen durante todo el período de enseñanza.

Una buena iluminación proporciona a los estudiantes y profesores un ambiente agradable y reconfortable, es decir un confort que les permite desarrollar su actividad sin demandar de ellos un esfuerzo visual, reduciendo su cansancio y los dolores de cabeza producidos por una iluminación inadecuada.

2.2.1. Deficiencias en las instalaciones del edificio T- 3

Se observó que las luminarias instaladas actualmente producen deslumbramientos directos e indirectos. Estas y otras causas dan lugar a una mala iluminación, que no favorece a los estudiantes, especialmente a aquellos con problemas de visión, lo que puede dar lugar a un aumento en el índice de fracaso escolar.

Ventajas de una buena iluminación:

- Para el estudiante:
 - Conserva su capacidad visual
 - Evita la fatiga ocular
 - Contribuye a su bienestar psíquico
 - Disminuye el ausentismo y reduce los accidentes
- Para el edificio:
 - Facilita la limpieza y el mantenimiento
 - Mejora la utilización del espacio
 - Mejora su apariencia

La cantidad de luz necesaria es aquella con la que el estudiante pueda aprender sin esfuerzo ni agotamiento visual y con seguridad.

Para la elaboración de la tabla II, fue necesario tomar muestras de los niveles de iluminación existentes en los diferente ambientes del edificio T-3, con un luxómetro marca *AEMC intruments* modelo CA813 detallando sus características en el próximo punto, esto con el fin de establecer un promedio del nivel de iluminación de cada nivel del edificio en diferentes horas, separándolos los ambientes por salones, pasillos y gradas; determinando que ninguno de los ambientes cuenta con los lúmenes recomendados por las normas americanas IES (Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Norte América).

Tabla II. **Medidas en Luxes**

MEDIDAS EN LUXES					
Ambientes	17:30 hrs	18:30 hrs	19:00 hrs	19:30 Hrs	Promedio Luxes
Salones primer nivel	283	250	232	178	235.75
Salones Segundo nivel	156	232	212	210	202.5
Salones tercer nivel	287	248	158	163	214
Salones cuarto nivel	304	175	179	189	211.75
Pasillos					
Nivel Cero	75	67	57	48	61.75
Nivel uno	34	65	78	74	62.75
Nivel dos	68	48	54	55	56.25
Nivel tres	70	53	51	56	57.5
Nivel cuarto	84	81	89	66	80
Gradas	86	50	54	55	61.25

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Características del luxómetro marca AEMC *intruments* modelo CA813

A continuación se muestra la descripción y aplicaciones del luxómetro CA813.

- Descripción:
 - Los luxómetros modelos CA813 son instrumentos portátiles, de fácil uso equipados de sensores ópticos diseñados para ofrecer la respuesta del ojo humano, haciendo de ellos unos instrumentos ideales para el análisis de iluminación. El ergonómico diseño de su carcasa, su display y la selección intuitiva de sus funciones hacen de estos instrumentos una acertada elección para cualquier aplicación.
 - Los luxómetros modelos CA811 y CA813 están diseñados para utilizarse con una sola mano. Disponen de selección de unidad de medidas en lux o *foot candle*, display LCD retro iluminado de 3 1/2 dígitos y función HOLD. El modelo CA 811 además dispone de función MAX, y el modelo CA 813 de función PEAK y una amplia respuesta.
- Aplicaciones:
 - Pruebas de iluminación en puestos de trabajo, oficinas, ambientes industriales, locales de pública concurrencia.
 - Pruebas de iluminación ambientales para sensores fotoeléctricos en archivos, museos y galerías de arte.

Figura 6. Especificaciones luxómetro CA813



Especificaciones

MODELO	CA811	CA813*
MEDIDAS		
Rango:	20fc, 200fc, 2000fc, 20kfc	20fc, 200fc, 2000fc, 20kfc
	20lux, 200lux, 2000lux, 20klux,	20lux, 200lux, 2000lux, 20klux, 200klux
Resolución:	0.1fc o 0.1lux	0.1fc o 0.1lux
Sensor:	Fotodiodo de Silicio	Fotodiodo de Silicio
Respuesta espectral:	Curva según CEI	Curva según CEI
Precisión para una fuente de luz de 2856K:	± 3% ± 10 dig	± 3% ± 10 dig
Respuesta del display:	2.5 veces por segundo (nominal)	
MECANICAS		
Display:	3½ dígitos cristal liquido (LCD)	
Polaridad:	Automática	
Indicación de batería baja:	[- +] se visualiza cuando la tensión de la batería es baja	
Dimensiones:	173 x 60.5 x 38mm	
Peso:	Aproxim. 214g incluida la pila	Aproxim. 224g incluida la pila

* Nota: El modelo CA813 dispone de mayor alcance de medida (200klux) y de mejor respuesta espectral a las fuentes de luz más comunes.

Fuente: www.chauvin-arnoux.es

Se pudo determinar que los niveles de iluminación para las distintas áreas de trabajo son inadecuados según se muestran en las normas de IES (Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Norte América).

2.2.3. Niveles de iluminación recomendados según IES (Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Norte América)

En la tabla III se detallan los niveles de iluminación por categorías y rangos definidos por la Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Norte América.

Tabla III. **Categorías de Iluminación en rangos Lux/footcandle**

	<i>Lux Range</i>			<i>Footcandle Range</i>		
<i>Iluminance Category</i>	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>
A	20	30	50	2	3	5
B	50	75	100	5	7.5	10
C	100	150	200	10	15	20
D	200	300	500	20	30	50
E	500	750	1000	50	75	100
F	1000	1500	2000	100	150	200
G	2000	300	5000	200	300	500
H	5000	7500	10000	50	750	1000
I	10000	15000	20000	1000	1500	20000

Fuente: IES (Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Norte América), Iluminación manual 1987.

Tabla IV. **Categorías de Iluminación**

<i>Building types</i>	<i>ILUMINANCE CATEGORY</i>
<i>Assembly; Entertainment</i>	
<i>Art gallery/museum/exhibit hall</i>	C

Continuación tabla IV.

<i>Coliseum/arena</i>	.....	D
<i>Concert hall</i>	.....	D
<i>Obsevaratory/planetarium</i>	.....	A
<i>Nightclub</i>	.....	B
<i>Radio/tv station/studio</i>	.....	G
<i>Theater/movie house/cinema</i>	.....	A
<i>Recreation;</i>		
<i>Amusement arcade</i>	.....	B
<i>Bowling alley</i>	.....	C
<i>Gymnasium/ymca/indoor racquet sport</i>	.....	D
<i>Indoor pool</i>	.....	C
<i>Poolroom</i>	.....	D
<i>Skating rink</i>	.....	C
<i>Religious;</i>		
<i>Chapel</i>	.....	D
<i>Church</i>	.....	D
<i>Mosque</i>	.....	D
<i>Synagogue</i>	.....	D
<i>Social/public/civic;</i>		
<i>Assembly hall</i>	.....	D
<i>Auditórium</i>	.....	B
<i>Convention hall</i>	.....	D
<i>Funeral home</i>	.....	C
<i>Lecture hall</i>	.....	D
<i>Lodge hall</i>	.....	C
<i>Meeting hall</i>	.....	D
<i>Student unión</i>	.....	D
<i>Town hall</i>	.....	D
<i>Other enclosed buildings;</i>		
<i>Armony</i>	.....	C
<i>Passenger terminal</i>	.....	C
<i>Nonenclosed/partial structure</i>	.....

Continuación tabla IV.

<i>Grandstand</i>	.....	D
<i>Stadium</i>	.....	D
<i>Education;</i>		
<i>Preschool</i>	.....	E
<i>Elementary</i>	.....	E
<i>Junio high</i>	.....	E
<i>Senior high</i>	.....	E
<i>College/university</i>	.....	E
		E
<i>Vacational school</i>	.....
<i>Food sales;</i>		
<i>Convenience store</i>	.....	D
<i>Farmer's market/vegetable stand</i>	.....	D
<i>Meat/seafood store</i>	.....	D
<i>Retail bakery</i>	.....	D
<i>Special food store</i>	.....	D
<i>Supermarket/grocery store</i>	.....	D
	
<i>Food service;</i>		
<i>Prepared meals</i>		
<i>Cafetería</i>	.....	C
<i>Carry out;</i>		
<i>Caterrer</i>	.....	C
<i>Fast-food</i>	.....	C
<i>Pizza parlor</i>	.....	C
<i>Sandwich shop</i>	.....	C
<i>Full service</i>		
<i>Bar</i>	.....	C
<i>Bar/grill</i>	.....	C
<i>Coffe shop</i>	.....	C
<i>Diner</i>	.....	C

Continuación tabla IV.

<i>Health care</i>		
<i>Medical care hospital</i>		
<i>Chronic disease</i>	.....	F
<i>Aer, eyes, nose, throat</i>	.....	F
<i>General medical/surgical</i>	.....	F
<i>Maternity</i>	.....	F
<i>Medical infirmary</i>	.....	F
<i>Orthopedic</i>	.....	F
<i>Tuberculosis/respiratory disease</i>	.....	F
<i>Mental facility</i>		
<i>Mental retardation/schools</i>	.....	F
<i>Psychiatric</i>	.....	F
<i>Rehabilitation facility</i>		
<i>Alcoholism</i>	.....	D
<i>Substance abuse</i>	.....	D
<i>Physical therapy</i>	.....	F
<i>Veterinary facility</i>		
<i>Animal hospital</i>	.....	F
<i>Kennel</i>	.....	D
<i>Dental clinic</i>	.....	D
<i>Medical clinic</i>		
<i>Abortion/birth control</i>	.....	F
<i>Aer, eyes, nose, throat</i>	.....	F
<i>Emergency walk-in</i>	.....	E
<i>General medical/surgical</i>	.....	D
<i>Mental health</i>	.....	D
<i>Veterinary</i>	.....	F

Continuación tabla IV.

		ILUMINANCE CATEGORY
<i>Building types</i>		
<i>Laboratory;</i>		
<i>Mechanical/electrical</i>	.....	E
<i>Medical/dental</i>	.....	E
<i>Agricultural</i>	.....	E
<i>Lodging;</i>		
<i>Short-term residence</i>	.....	D
<i>Convention hotel</i>	.....	D
<i>Hotel</i>	.....	D
<i>Inn</i>	.....	D
<i>Motel</i>	.....	D
<i>Shelter home</i>	.....	D
<i>Tourims home</i>	.....	D
<i>Long-term residence;</i>		
<i>Boarding house</i>	.....	D
<i>Convent/monatery</i>	.....	D
<i>Domitory/soronty/fraternity</i>	.....	D
<i>Orphanage</i>	.....	D
<i>Mercantile/service;</i>		
<i>Automotive</i>		
<i>Aotomobile dealers</i>	.....	D
<i>Gasolina station</i>	.....	D
<i>Motor vehicle reapiir/service</i>	.....	E
<i>Ratail sales;</i>		
<i>Building materials/garden supply</i>	.....	D
<i>Departamen stores/apparel stores</i>	.....	D
<i>Drugstore</i>	.....	D
<i>Furmiture/home/equipament</i>	.....	D

Continuación tabla IV.

<i>Services;</i>		
<i>Laundry/dyr cleaning/car wash</i>	.....	D
<i>Multiservice establishment</i>	.....	D
<i>Personal services</i>	.....	D
<i>Shopping center</i>	.....	D
<i>Wholesale godos</i>	.....	D
 <i>Office;</i>		
<i>Data pocessing</i>		
<i>Computer center</i>	.....	E
<i>Financial office building</i>		
<i>Bank</i>	.....	D
<i>Brokerage firm</i>	.....	D
<i>Insurance</i>	.....	D
<i>Real state</i>	.....	D
<i>Securities</i>	.....	D
 <i>Professional office building;</i>		
<i>Administration</i>	.....	D
<i>Consulting</i>	.....	D
<i>Corporate</i>	.....	D
<i>Engineering</i>	.....	D
<i>Law</i>	.....	D
<i>Management</i>	.....	D
<i>Medical</i>	.....	D
<i>Mixed profesional</i>	.....	D
 <i>Other;</i>		
<i>Crematorium</i>	.....	C
<i>Hangar</i>	.....	D
<i>Parking garaje</i>	.....	C

Continuación tabla IV.

<i>Public order an safety;</i>		
<i>Courthouse</i>	.....	E
<i>Fire station</i>	.....	D
<i>Jail/prisión</i>	.....	D
<i>Penitentiary</i>	.....	D
<i>Police station</i>	.....	E
<i>Reformatory</i>	.....	D
<i>Shoreffs office</i>	.....	E
 <i>Residential care;</i>		
<i>Skilled nursing</i>		
<i>Homers for the aged</i>	.....	D
<i>Nursing homes</i>	.....	D
 <i>Warehouse:</i>		
<i>Refrigerated warehouse</i>	.....	C
<i>Non-refregerated storage</i>	.....	C
 <i>Vacant</i>	.....	A

Fuente: IES (Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Norte América). Iluminación manual 1987.

Según IES (Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Norte América), el nivel adecuado para la iluminación de un centro de aprendizaje se determina con las tablas anteriores.

Se harán cálculos sobre un rango de iluminación bajo, ya que según se observará mas adelante las normas europeas sobre iluminación de interiores coinciden con este valor para centros educativos, por lo que se trabajará con un valor de iluminación equivalente a 500 Lux o 50 *footcandle* para los salones de clase.

Por otro lado es muy importante la utilización de iluminación eficiente, mediante luminarias de alto rendimiento que incorporen equipos de bajo consumo y lámparas de alta eficiencia luminosa (lumen/vatio), unidas al sistema del uso de regulación y control adecuados de acuerdo a las necesidades del local a iluminar, lo que permitirá tener niveles de confort sin sacrificar la eficiencia energética.

2.3. Factores fundamentales que se deben tener en cuenta al realizar el diseño de una instalación

Los factores fundamentales a tomar en cuenta para realizar el diseño de iluminación son:

- Iluminancias requeridas (niveles de flujo luminoso (lux) que inciden en una superficie)
- Uniformidad de la repartición de las iluminancias
- Limitación de deslumbramiento
- Limitación del contraste de luminancias
- Color de la luz y la reproducción cromática
- Selección del tipo de iluminación, de las fuentes de luz y de las luminarias

Por lo tanto es importante tener en cuenta la cantidad y calidad de luz necesaria, siempre en función de la dependencia que se va a iluminar y de la actividad que en ella se realizará.

2.3.1 Elementos de un sistema de iluminación

Los elementos de un sistema de iluminación son:

- Fuente de luz, tipo de lámpara utilizada, que permitirá conocer las necesidades eléctricas.
- Luminaria, sirve para aumentar el flujo luminoso, evitar el deslumbramiento y viene condicionada por el tipo de iluminación y fuente de luz escogida.
- Sistema de control y regulación de la luminaria, para el sistema de regulación podemos utilizar un regulador de intensidad (*dimmer*).

Figura 7. **Sistema de control y regulación.**



Fuente: elaboración propia.

2. 4. Consideraciones generales

Para resolver la iluminación del Interior del Edificio T-3, se han de trabajar diversos aspectos, como son: el de confort visual, la eficiencia lumínica y energética.

Para la elección de lámpara o tipo de luminaria se han considerado cuatro ambientes o áreas de trabajo con niveles de iluminación distintos que serán justificados posteriormente.

Dichas áreas son:

- Iluminación de salones de clase
- Iluminación de pasillos
- Iluminación de gradas
- Iluminación de oficinas

2.4.1. Norma Europea sobre la iluminación para interiores UNE 12464-1

De acuerdo a estas normas los valores en lux para estas áreas de trabajo son los indicados en la siguiente tabla.

Tabla V. Niveles de iluminación para áreas de trabajo

Tipo de interior, área, actividad	Em lux	UGR	Ra
Iluminación de salones de clase	500	19	80
Iluminación de pasillos	100	25	80
Iluminación de gradas	150	25	80
Iluminación de oficinas	200	25	80

Fuente: Norma europea sobre iluminación para interiores (UNE 12464-1).

Em: iluminancia mantenida, ésta no debe caer por debajo de los valores de la tabla anterior independientemente del estado y la edad de la instalación.

UGR: índice deslumbramiento unificado, es el índice de deslumbramiento molesto procedente directamente de las luminarias de una instalación de iluminación interior.

Ra: índice de rendimiento de colores, es la capacidad de una fuente de luz artificial en reproducir los colores, siendo la referencia la luz del sol.

Para obtener un alumbrado adecuado para el confort visual, cabe actuar desde una iluminación sensiblemente uniforme de la superficie del local, o bien iluminar de una forma individual y especial el lugar de estudio según un criterio localizado.

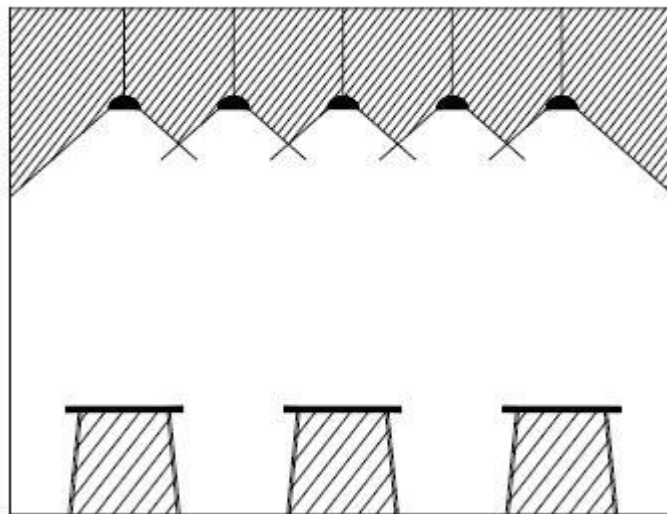
Existen tres tipos de alumbrado se denominan: general, localizado y suplementario. La denominación de suplementario indica que no se utilizará de forma única, sino una combinación de cualquiera de los dos sistemas anteriores.

Por último, también puede producirse el caso de que para determinadas tareas, aun teniendo un alumbrado general satisfactorio, sea necesaria una exigencia mayor en determinados puntos, a los que se les suplementará la iluminación, para adaptarlos a ciertos valores específicos en lugares donde se realizan importantes trabajos visuales.

2.5. Tipos de alumbrado

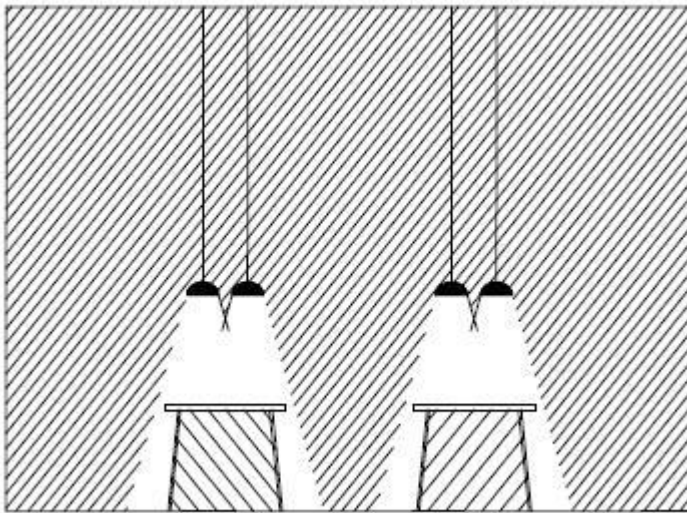
Los tipos de alumbrado que podemos encontrar son; general, localizado y modularizado, siendo estos los presentados en las siguientes figuras.

Figura 8. **Alumbrado general**



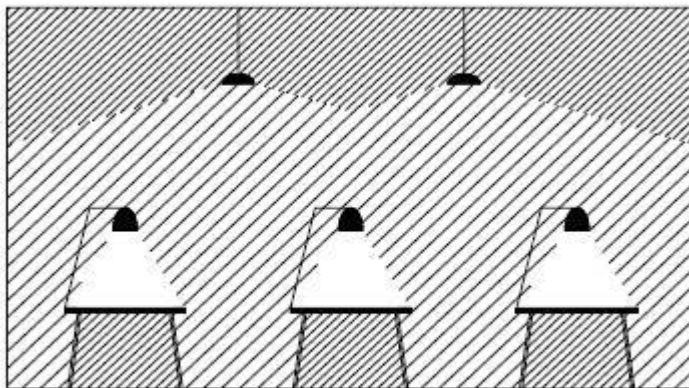
Fuente: C.F. Kirchbaum. Diseño de iluminación de interiores, p. 4.

Figura 9. **Alumbrado localizado**



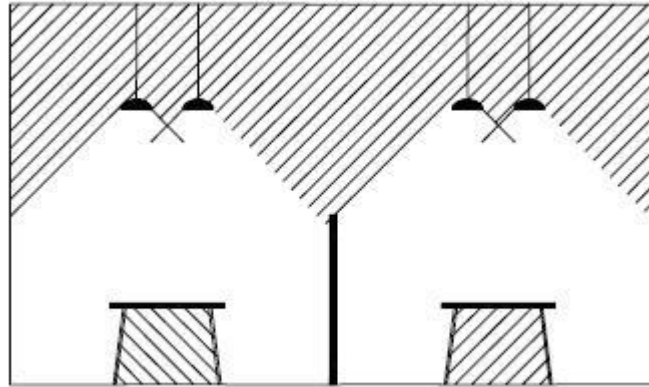
Fuente: C.F. Kirchbaum. Diseño de iluminación de interiores, p. 4.

Figura 10. **Alumbrado general y localizado**



Fuente: C.F. Kirchbaum. Diseño de iluminación de interiores, p. 5.

Figura 11. **Alumbrado modularizado**



Fuente: C.F. Kirchbaum. Diseño de iluminación de interiores, p. 5.

2.5.1. Características del tipo de alumbrado general

Las luminarias (generalmente colocadas simétricamente) proporcionan un nivel de iluminación razonablemente uniforme a toda una zona constituyen un sistema de alumbrado general. Un buen sistema de alumbrado general hace posible el cambio de desplazamiento de la maquinaria sin necesidad de alterar el alumbrado y así mismo permiten la utilización total de la superficie de suelo.

Algunos procesos de fabricación pueden iluminarse suficientemente solo mediante un buen sistema de alumbrado general, mientras otros requieren un alumbrado suplementario en maquinas determinadas o en lugares de trabajo, incluso cuando se suministra luz localizada para una tarea determinada, se requiere por razones de seguridad un sistema de alumbrado especial, como también para mantener relaciones razonables de brillo en toda el área.

Cuando las zonas tales como bancos de trabajo están pegadas a la pared, se proveerán de unas líneas de luminarias.

- Disposición de luminarias
 - Uniforme

- Características luminotécnicas
 - Altos niveles de iluminación en todo el espacio
 - Reducción de contrastes y brillos, se minimiza la proyección de sombras

- Sobre el espacio
 - Produce sensación de amplitud y orden
 - Crea atmósferas de monotonía y condiciones propicias para trabajos que requieren alta concentración
 - Aplana texturas, oculta detalles
 - Minimiza efectos de reflejos especulares
 - Apaga intensidad de los colores

2.5.2. Características del alumbrado localizado

El alumbrado suplementario se añade al general para tareas visuales difíciles o procesos de inspección que no pueden iluminarse satisfactoriamente o prácticamente con el alumbrado general, puede ser según las necesidades, una cantidad adicional de luz en un punto o en una zona específica, una luz recibida según otra dirección o bien da un color o calidad diferente.

- Disposición de luminarias
 - Irregular

- Características luminotécnicas
 - Altos niveles de iluminación solo en áreas de interés
 - Uniformidad general, bajos contrastes realzados
 - Puede causar importante proyección de sombras
- Sobre el espacio
 - Produce sensación de reducción de espacio
 - Puede crear sensaciones dramáticas estimulantes y distractoras

2.5.3. Características de alumbrado general y localizado

Este tipo de alumbrado presenta las siguientes ventajas

- Disposición de luminarias
 - Uniforme (regular) e irregular (localizado)
- Características luminotécnicas
 - Iluminancia general reducida respecto a áreas de trabajo
 - Uniformidad general baja
 - Contrastes realzados
- Sobre el espacio
 - Un balance adecuado puede compensar la sensación de espacio reducido y crear condiciones propicias para el trabajo

2.5.4. Características del tipo modularizado

Las características de este tipo de alumbrado se describen a continuación:

- Disposición de luminarias
 - Uniforme por sectores
- Características luminotécnicas
 - Iluminancia media elevada. Uniformidad excelente
 - Reducidos contrastes y proyección de sombras
- Sobre el espacio
 - Produce sensación de amplitud y orden
 - Crea atmósferas de monotonía y condiciones propicias para trabajos que requieren alta concentración
 - Aplana texturas, oculta detalles
 - Minimiza efectos de reflejos especulares
 - Apaga intensidad de los colores

Debido a las tareas desempeñadas en el edificio (enseñanza y aprendizaje) se concluye que la mejor opción para alumbrado es la de tipo general, ya que por sus características es la que más se adapta a nuestras necesidades, por lo que se harán cálculos basados en este tipo de alumbrado.

3. ELECCIÓN DE FUENTE LUMINOSA

Para la elección de la fuente luminosa se tomarán en cuenta los puntos que se numeran en los siguientes incisos.

3.1. Lámparas led

El primer espectro visible práctico led fue desarrollado en 1962, el desarrollo de los led ha alcanzado un nivel tan alto, que ha sido escogido como la mejor alternativa al bulbo incandescente, a la luz de neón y al fluorescente en muchas áreas. Se predice que con el ya remoto desarrollo de led, las fuentes de iluminación mencionadas o convencionales actuales cederán el paso a los led en el futuro próximo. El futuro del ser humano será más brillante ya que el empleo común de los led supondrá ahorro en energía, costos y tiempo.

Su gran ventaja frente a las tradicionales bombillas de filamento de tungsteno, e incluso frente a las bombillas de bajo consumo, radica en su eficiencia energética.

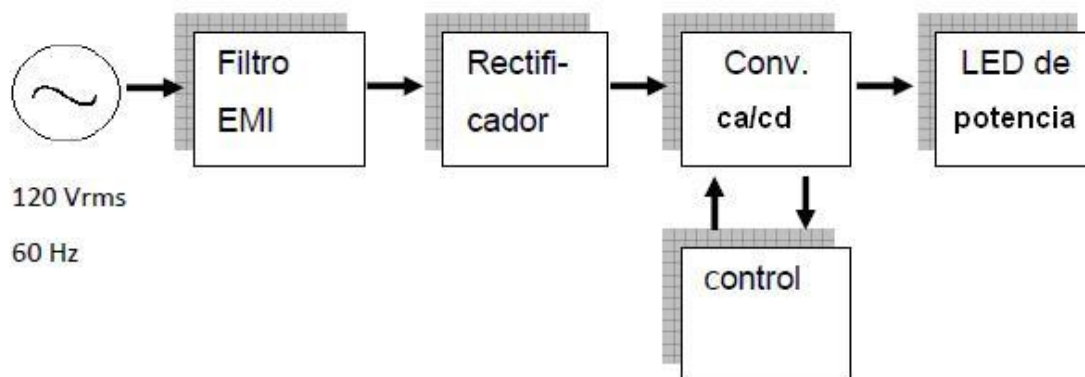
3.2. Sistema de iluminación de estado sólido (led)

La iluminación con dispositivos led, tiende a ser la luz del mañana por la convergencia que representan a través de varias mejoras, las cuales están consiguiendo realizar un cambio espectacular en la industria del sector. Es más fácil controlar un arreglo de led que cualquier otro tipo de lámparas.

Sin embargo, tienen su propio conjunto de requerimientos y cambios, no necesitan calentamiento, ni altos voltajes de alimentación para encenderlos, pero estos dispositivos requieren de una fuente de corriente constante y regulada para asegurar una salida de iluminación consistente y desarrollar una vida larga.

En la figura 12, se muestra un diagrama a bloques de un sistema de iluminación de estos dispositivos alimentados desde una línea de ca, por lo tanto requieren de un filtro para eliminar interferencias electromagnéticas (EMI: *electromagnetic interference*), un circuito rectificador, un convertidor ca/cd puesto que se requiere de un voltaje de cd para alimentar estos dispositivos y su correspondiente circuito de control.

Figura 12. **Esquema de un sistema de iluminación de estado sólido led.**



Fuente: Tesis eficiencia energética, Universidad técnica particular de Loja, p. 16.

Las fuentes led que reemplazan a las lámparas fluorescentes lineales son básicamente un arreglo rectilíneo de led, montados en un formato tubular, normalmente con bases bi-pin que son compatibles con las portalámparas fluorescentes estándar.

A diferencia de las lámparas fluorescentes lineales, que emiten luz en un patrón omnidireccional, las led lineales son fuentes direccionales destinadas a emitir luz del sistema más directamente (hacia abajo en el caso de una lámpara).

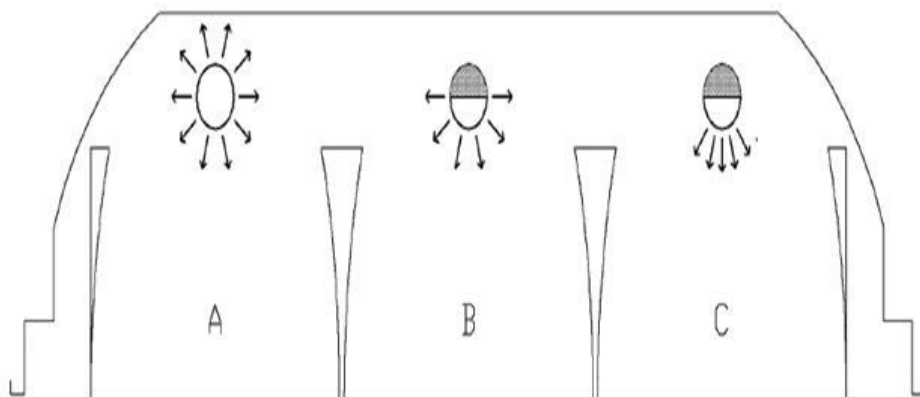
La información del fabricante para estos productos generalmente enfoca un ahorro energético, larga vida, bajo mantenimiento, y composición libre de mercurio.

Las lámparas led no necesitan el balastro fluorescente para conectarse a un voltaje lineal (120V o 227V). A pesar de la relativa facilidad de instalar apropiadamente el tamaño de las led en las portalámparas fluorescentes, la labor para las conexiones eléctricas (debido a los componentes electrónicos de control) podría implicar gastos significativos, dependiendo de la escala del proyecto de readaptación.

Los led son fuentes de luz inherentemente direccionales, que indica que las lámparas led lineales entregan fuera de su lámpara, un porcentaje total de lúmenes mayor que las fuentes fluorescentes omnidireccionales. La Fig. 13 ilustra como la direccionalidad de una fuente de luz puede afectar en la eficiencia-sistema.

La lámpara en el escenario A es una lámpara omnidireccional normal (lámpara fluorescente T12 o T8). La absorción de la luz en la estructura y pantalla de la luminaria limita la eficiencia-sistema entre el 60% y 70 %. Los escenarios B y C muestran la dirección de la emisión de la luz de dos posibles lanzamientos de lámparas led lineales, con el arreglo led montado en el centro de la lámpara.

Figura 13. **Dirección de una fuente de luz, a) fluorescente, b) y c) led.**



Fuente: Tesis eficiencia energética, Universidad técnica particular de Loja, p. 18.

La eficiencia-sistema es potencialmente mayor en estas configuraciones porque más cantidad de lúmenes de la lámpara son dirigidos fuera del sistema que absorbidos en los componentes del sistema. Nótese sin embargo, que la lámpara es diseñada para una fuente omnidireccional y que omitiendo el flujo luminoso de la lámpara en ángulos mayores a 90° se puede afectar a la distribución total de luz del sistema.

La información del fabricante para algunos productos led lineales argumenta que en virtud de su direccionalidad, los productos led lograrán igualar o superar los niveles de iluminación de los productos fluorescentes con mucho menos lúmenes totales.

En el mismo sentido de oferta, la información del fabricante de las lámparas led también implica un ahorro energético comparable con productos fluorescentes equivalentes.

3.3. Rasgos y ventajas de los led

Los rasgos inherentes de los led lo definen para ser la mejor alternativa a fuentes de iluminación convencionales y proporcionar una más amplia gama de uso.

- Pequeño tamaño, un led puede ser sumamente pequeño y proporcionar un haz de luz de altas prestaciones lumínicas.
- Consumo de electricidad bajo, los led tienen un consumo de electricidad muy bajo. Generalmente, un led está diseñado para funcionar en la corriente 2-3.6V, 0.02-0.03A, esto significa que no necesita más de 0.1w para funcionar.
- Vida larga, con funcionamiento a una tensión nominal, la corriente y el ambiente adecuados los led disfrutan de una larga vida aproximadamente 50,000 horas.
- Alta eficacia luminosa y baja emisión de calor, los led puede convertir casi toda la energía usada en luz, y por lo tanto el rendimiento de los mismos se traduce en una muy alta eficacia luminosa y baja emisión de calor. Uno de los mejores led en el mercado actual emite 321 lm/w, que es casi dos veces tan eficiente como una bombilla de filamento de tungsteno equivalente.
- Protección de medio ambiente, estas lámparas no contienen plomo, ni mercurio. No hay contaminación ambiental.

Los led están fabricados con materiales no tóxicos a diferencia de las lámparas fluorescentes que contienen mercurio y que plantean un peligro de contaminación. Los led pueden ser totalmente reciclados.

Las ventajas de las lámparas led son:

- Irrompible, el dispositivo electro luminiscente de los led esta completamente encajado en un recinto de resina epoxi, lo hace mucho más robusto que la lámpara de filamentos convencional y el tubo fluorescente; no hay ninguna parte móvil dentro del recinto de epoxi sólido, es más resistente a vibraciones o impactos. Esto hace que los led sean altamente resistentes.
- Tiempo de encendido, tienen un muy rápido tiempo de encendido (60 nano segundos versus 10 milisegundos para las incandescentes, y 1 segundo o más para las fluorescentes).
- Alta eficiencia de luminosidad, el led es el elemento principal, la base de la iluminación. Antes era un dispositivo muy pequeño que solo se utilizaba para indicar, ahora emite una gran cantidad de luz (más de 130 lúmenes por cada watt consumido).

La eficiencia de la iluminación con led en las condiciones existentes es ≥ 80 lm/w. Progresivamente aumentará el brillo del led a 150 lm/w y la lámpara de sodio de 400W se remplazará con la de 100W de led, después la eficiencia de luminosidad llegará a 300 lm/w, eventualmente.

- Variedad, los led tienen la capacidad de emitir una luz difusa o enfocada dependiendo de la necesidad, pero en cualquiera de los casos es la iluminación más uniforme que se pueda obtener.

De este modo, los espacios se iluminan de forma más homogénea sin bruscos contrastes ni aros de luz, lo que permite una mejor orientación y percepción de los detalles. Los led están disponibles en una variedad de colores que incluye rojo, verde, amarillo, azul, y diferentes temperaturas de color de blanco (blanco cálido como las luces incandescentes o blanco frío como los tubos fluorescentes).

3.4. Desventajas

Las desventajas que presentan las lámparas led son:

- EL rendimiento del led es significativamente afectado por elevadas temperaturas, provocando una reducción de su vida útil.
- El precio elevado de una lámpara led en comparación con el costo de una lámpara fluorescente.
- Su flujo luminoso es aproximadamente un 25% mas bajo que el flujo de un tubo fluorescente, lo que conlleva instalar un mayor numero de luminarias led por ambiente.

3.5. Lámparas led MBELT8

Las lámparas led tienen el mismo método de instalación que las tradicionales.

Tienen alta eficacia luminosa (comparado con famosas marcas de lámparas fluorescentes, con el mismo brillo, una lámpara led consume solo 1/3 de la energía eléctrica de una lámpara fluorescente tradicional) y el tiempo de vida es mayor.

Se producen luminarias led de 12W y 18W para reemplazar las tradicionales luminarias Fluorescentes de 30W y 40W.

Su eficiencia en el ahorro de energía es bastante evidente. Presenta un diseño compacto del circuito que da hasta el 98% de eficiencia luminosa.

Estas lámparas led pueden trabajar continuamente durante un tiempo de más de 1.666 días, lo que equivale a más de 40.000 horas de iluminación, sin ningún fallo. Esta prueba demuestra que el circuito de lámparas led es seguro y fiable.

El voltaje de trabajo de las lámparas led se puede personalizar según las necesidades del cliente.

3.5.1. Características de la lámpara MBELT8 led

Las características más importantes de la lámpara MBEL T8 son:

- Reemplazo directo a luminarias fluorescentes convencionales.
- Utilizan led superbrillantes como fuente de luz.
- Incorporada en el suministro de energía, bajo voltaje y corriente de trabajo como resultado una alta fiabilidad y estabilidad.
- Igual que los tradicionales tubos fluorescentes T8 de 30w/40w watts es bueno para el ahorro de energía.
- Baja depreciación de lúmenes es de un 10% por cada 10,000hrs y su vida útil de 50,000 hrs.
- Fácil de instalar sin mantenimiento y respetuoso con el medio ambiente.
- Material de fabricación; aleación de aluminio y cubierta de PC de alta transparencia.
- Ángulo de haz; 120°.
- Grado de protección; IP 44.
- Garantía; dos años.

Tabla VI. Especificaciones tubo MBEL-EW-T8-18W

Principales especificaciones:

Modelo	MBEL-EW-T8-18W-TR
Color	Blanco Cálido, Blanco Natural, Blanco Puro, Blanco Frio
Carcasa	Transparente o traslucida
Base	Gira 180°
Cantidad Led	288Led SMD3528
Consumo	18W±1W
Factor Energía	0.98
Voltaje	AC100-240V
Flujo Luminoso	2184lm
Iluminación	Altura 1m: 439lux, Altura 2m: 113lux, Altura 3m: 50lux
Eficiencia Lumínica	121.33lm/W
CCT	Blanco Cálido: 3000-3200K, Blanco Natural: 4500-5000K, Blanco Puro: 6000-6500K, Blanco Frio: 7000-7500K
CRI	Blanco Cálido: 80, Blanco Puro: 73
Angulo	120
Rango IP	IP50
Certificado	CE
Tamaño	120cm
Garantía	3 años

Fuente: www.multicanalbusiness.com. Tubos led No. 6, p. 40.

Figura 14. Modelo MBEL T-8, 18 W.



Fuente: www.multicanalbusiness.com. Tubos led No. 6, p. 40.

Tabla VII. **Especificaciones del modelo MBEL T8- 18 W**

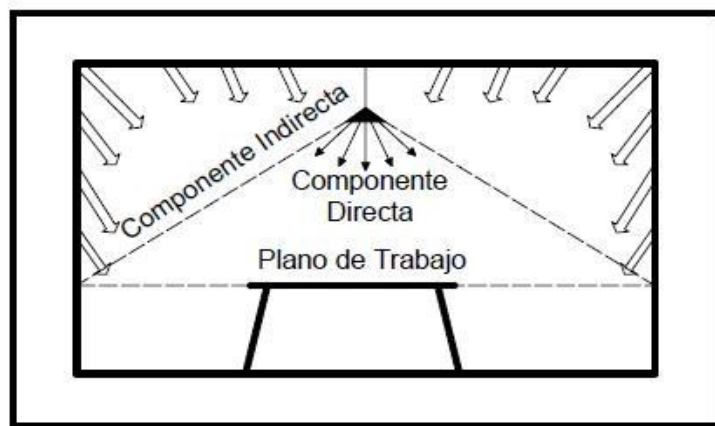
Modelo	Tamaño (mm)	Voltaje (AC)	Potencia (W)	Color (K)	Lumenes (lm)
MBEL-T8-60CM	600 x 26	85-265 V	7	Blanco calido:	500-600-720
MBEL-T8-60CM	600 x 26	85-265 V	8	2700-3500K	720-864-1008
MBEL-T8-90CM	900 x 26	85-265 V	12		1080-1296-1512
MBEL-T8-120CM	1200 x 26	85-265 V	12	Blanco natural:	1080-1296-1512
MBEL-T8-120CM	1200 x 26	85-265 V	15	4000-5500K	1380-1656-1932
MBEL-T8-120CM	1200 x 26	85-265 V	18		1560-1872-2184
MBEL-T8-150CM	1500 x 26	85-265 V	18		1500-1800-2100
MBEL-T8-150CM	1500 x 26	85-265 V	20	Blanco puro-frio	1680-2016-2352
MBEL-T8-150CM	1500 x 26	85-265 V	28	6000-7000K	2160-2592-3024

Fuente: www.multicanalbusiness.com. Tubos led No.6, p. 41

4. ANÁLISIS TÉCNICO

El cálculo de la iluminación de interiores comprende la determinación del flujo luminoso total que incide sobre un punto o superficie. Este flujo comprende dos partes como lo muestra la figura 15, la primera corresponde a la fracción que llega directamente desde la luminaria (componente directa), la otra la cantidad de luz proveniente de múltiples reflexiones que tienen lugar en los objetos y las superficies que delimitan el espacio y que pueden considerarse como fuentes secundarias (componente indirecta o reflejada).

Figura 15. **Flujo luminoso total que incide sobre una superficie**



Fuente: C.F. Kirschbourn. Diseño de la iluminación de interiores, p. 17.

4.1. Método de lúmenes para el cálculo de iluminación

La finalidad de este método es calcular el valor medio en servicio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general.

Es muy práctico y fácil de usar, y por ello se utiliza mucho en la iluminación de interiores cuando la precisión necesaria no es muy alta como ocurre en la mayoría de los casos.

El proceso a seguir se puede explicar mediante el siguiente diagrama de bloques;

Figura 16. Diagrama de bloques método de lúmenes



Fuente: EDISON, Javier. Calculo de instalaciones de alumbrado, p. 8.

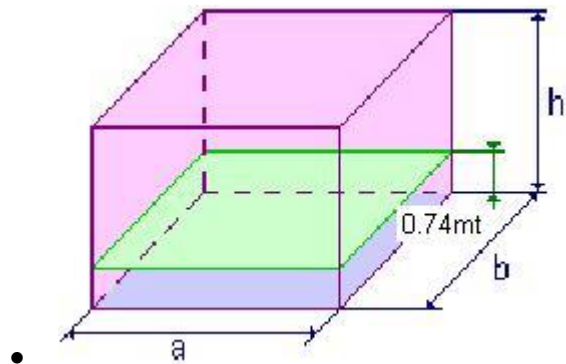
4.1.1. Datos de entrada

Los datos de entrada a considerar son los siguientes:

- Dimensiones de los diferentes ambientes de trabajo como largo y ancho
- La altura del plano de trabajo ver figura 17, (la altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo), para los escritorios se considera una altura de trabajo de 0.74 m.

- Nivel de iluminancia media (E_m), este valor depende del tipo de actividad a realizar en los ambientes de trabajo y podemos encontrarlos tabulados en la Tabla III y tabla IV de la categoría de iluminación.
- Índice del local (K)

Figura 17. **Altura del plano de trabajo 0.74mts**



Fuente: EDISON, Javier. Calculo de instalaciones de alumbrado, p. 10.

Según IES (Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Norte América), el nivel adecuado para la iluminación de un centro de aprendizaje se determina con las tablas que se detallan a continuación:

Tabla VIII. **Resumen de la categoría de iluminación en rangos
*lux/footcandle***

College/University.....E

	<i>Lux range</i>			<i>Footcandle range</i>		
<i>Illuminance category</i>	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>
E	500	750	1000	50	75	100

Fuente: IES (Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Norte America). Iluminación manual 1987.

De acuerdo a los datos de la tabla VIII, para el cálculo de iluminación se consideran los rangos estipulados en la siguiente tabla.

Tabla IX. **Categoría de rangos E, en *lux/footcandle***

<i>Range Category</i>	<i>Lux</i>	<i>Footcandle</i>
<i>Low</i>	500	50
<i>Medium</i>	750	75
<i>High</i>	1000	100

Fuente: elaboración propia.

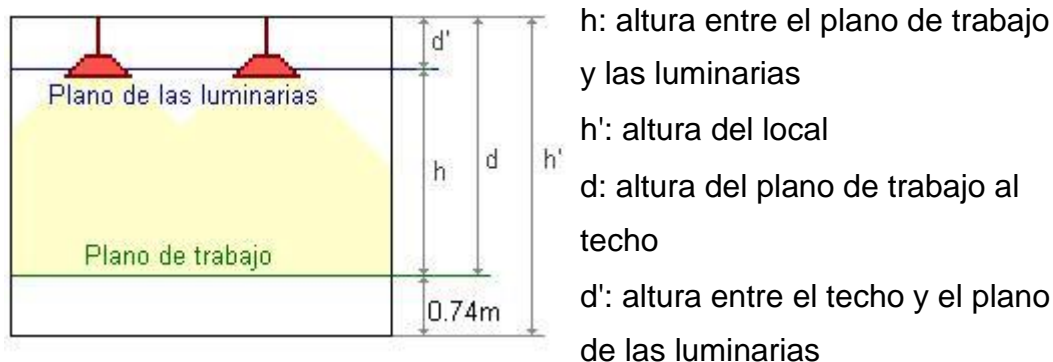
Se hacen cálculos sobre un rango de iluminación bajo ya que según se observará mas adelante las normas europeas sobre iluminación de interiores coinciden con este valor para centros educativos, por lo que se trabajara con un valor de iluminación equivalente a 500 Lux o 50 *footcandle* para los salones de clase.

Por otro lado es muy importante la utilización de iluminación eficiente, mediante luminarias de alto rendimiento, que incorporen equipos de bajo consumo y lámparas de alta eficiencia luminosa (lumen/vatio), unidas al sistema del uso de regulación y control adecuados de acuerdo a las necesidades del local a iluminar, lo que permitirá tener niveles de confort sin sacrificar la eficiencia energética.

4.2. Cálculo alturas de trabajo en los salones del edificio julio padilla de la Universidad Nacional de Ingeniería

Para determinar la altura de suspensión de las luminarias según el sistema de iluminación escogido, se tienen las siguientes consideraciones.

Figura 18. **Altura de suspensión de luminaria**



Fuente: EDISON, Javier. Cálculo de instalaciones de alumbrado, p. 10.

Los datos generales obtenidos por medio de mediciones realizadas en los salones del edificio T-3 son los siguientes:

h: altura entre el plano de trabajo y las luminarias = 2.26

mts. h': altura del local = 3.15mts.

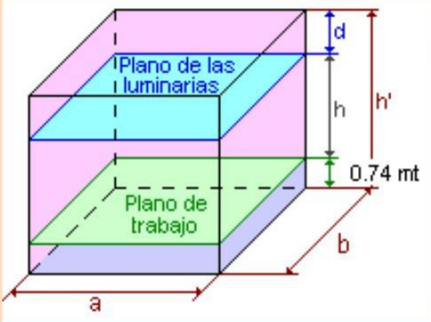
d: altura del plano de trabajo al techo = 2.41mts.

d': altura entre el techo y el plano de las luminarias = 0.15 mts.

4.3. Cálculo del índice del local (k)

El cálculo del índice del local se hace a partir de la geometría de éste. En el caso del método de lúmenes se calcula siguiendo lo indicado en la tabla de la figura 19.

Figura 19. Altura plano de trabajo

	Sistema de iluminación	Índice del local
	Iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$
	Iluminación indirecta y semiindirecta	$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h + 0.85) \cdot (a + b)}$

Fuente: EDISON, Javier. Cálculo de instalaciones de alumbrado, p. 11.

El índice del local (k) es un número comprendido entre 1 y 10. A pesar de que se pueden obtener valores mayores de 10 con la fórmula, no se consideran, pues la diferencia entre usar diez o un número mayor en los cálculos es despreciable.

$$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} \quad (4)$$

Donde:

k = Índice del local

a = Frente

b = Fondo

h = Altura entre el plano de trabajo y las luminarias

Tabla X. Índice del local (k) para nivel cero

Nivel 0	A	B	h	Índice del local (K)
Cafetería	20.7	7.2	2.26	2.364
Reproducción	13.9	7.2	2.26	2.099
Tableros, bomba, baño	15.1	7.2	3	1.625
Sistemas	6.9	7.2	2.26	1.559
Escuela	6.9	7.2	2.26	1.559
Salón de proyecciones	17.6	7.2	2.26	2.261
Escuela de civil	17.4	10.4	2.26	2.880
Salón 001	6.7	7.2	2.26	1.536
Salón 002	10.8	7.2	2.26	1.912
Gradas 1	6.9	6.9	3	1.150
Gradas 2	6.9	6.9	3	1.150
Pasillo para T1	2.25	7.2	3	0.571
Pasillo	119.1	3.4	3	1.102

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Índice del local (k) para el primer nivel

Nivel 1	A	b	h	Índice del local (K)
Informática	6.9	7.2	2.26	1.559
AEI	10.4	7.2	2.26	1.883
Fotocopiadora	3.2	7.2	2.26	0.980
Salón 104	3.6	7.2	2.26	1.062
Salón 105	10.4	7.2	2.26	1.883
Salón 106	3.4	7.2	2.26	1.022
Baño mujeres	3.4	7.2	3	0.770
Baño de hombres	10.4	7.2	3	1.418
Salón 109	13.9	7.2	2.26	2.099
Salón 110	13.9	7.2	2.26	2.099
Salón 111	10.4	7.2	2.26	1.883
Salón 112	10.4	7.2	2.26	1.883
Salón 113	6.9	7.2	2.26	1.559
Salón 114	10.6	7.2	2.26	1.897
Gradas 1	6.9	6.9	3	1.150
Clínica médica	3.4	3.4	2.26	0.752
Gradas 2	6.9	6.9	3	1.150
Odontología y psicología	6.9	3.4	2.26	1.008
Pasillo	119.1	3.4	3	1.102

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Índice del local (k) para el segundo nivel

Nivel 2	a	B	h	Índice del local (K)
Plaza corea	20.7	7.2	2.26	2.364
Salón 204	3.6	7.2	2.26	1.062
Salón 205	3.4	7.2	2.26	1.022
Salón 206	10.4	7.2	2.26	1.883
Baño mujeres	3.4	7.2	3	0.770
Baño hombres	10.4	7.2	3	1.418
Salón 209	10.4	7.2	2.26	1.883
Salón 210	10.4	7.2	2.26	1.883
Salón 211	6.9	7.2	2.26	1.559
Salón 212	6.9	7.2	2.26	1.559
Salón 213	6.9	7.2	2.26	1.559
Salón 214	6.9	7.2	2.26	1.559
Gradas 1	6.9	6.9	3	1.150
Gradas 2	6.9	6.9	3	1.150
Asuntos estudiantiles	6.9	3.4	2.26	1.008
Pasillo	119.1	3.4	3	1.102

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Índice del local (k) para el tercer nivel

Nivel 3	a	b	h	índice del local (K)
Laboratorio computacion 1	10.4	7.2	2.26	1.883
Laboratorio computacion 2	10.2	7.2	2.26	1.868
Salón 304	3.6	7.2	2.26	1.062
Salón 305	3.4	7.2	2.26	1.022
Salón 306	10.4	7.2	2.26	1.883
Baño mujeres	3.4	7.2	3	0.770
Baño hombres	10.4	7.2	3	1.418
Salón 309	10.4	7.2	2.26	1.883
Salón 310	17.4	7.2	2.26	2.253
Salón 311	6.9	7.2	2.26	1.559
Salón 312	6.9	7.2	2.26	1.559
Salón 313	6.9	7.2	2.26	1.559
Salón 314	6.9	7.2	2.26	1.559
Salón 315	10.6	7.2	2.26	1.897
Gradas 1	6.9	6.9	3	1.150
Gradas 2	6.9	6.9	3	1.150
Salón cultura y deporte	7.1	3.4	2.26	1.017
Pasillo	119.1	3.4	3	1.102

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. Índice del local (k) para el cuarto nivel

Nivel 4	A	b	h	índice del local (K)
Salón 402	20.7	7.2	2.26	2.364
Salón 403	3.6	7.2	2.26	1.062
Salón 404	13.9	7.2	2.26	2.099
Baño mujeres	3.4	7.2	3	0.770
Baño hombres	10.4	7.2	3	1.418
Salón 407	6.9	7.2	2.26	1.559
Centro tecnológico 1	6.9	7.2	2.26	1.559
Centro tecnologico 2	6.9	7.2	2.26	1.559
Salón 410	6.9	7.2	2.26	1.559
Salón 411	6.9	7.2	2.26	1.559
Salón 412	6.9	7.2	2.26	1.559
Salón 413	6.9	7.2	2.26	1.559
Salón 414	10.6	7.2	2.26	1.897
Gradas 1	6.9	6.89	3	1.149
Gradas 2	6.9	6.89	3	1.149
SAE/SAP	7.1	3.4	2.26	0.766
Pasillo	119.1	3.4	3	1.102

Fuente: elaboración propia.

4.4. Cálculo del coeficientes de reflexión de techo, paredes y suelo

Estos valores se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado. Si no disponemos de ellos podemos tomarlos de la tabla XV.

Tabla XV. Factor de reflexión de techo, paredes y suelo

Superficie	Color	Factor de reflexión ()
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	Claro	0.5
	Medio	0.3
Paredes	Claro	0.5
	Medio	0.3
	Oscuro	0.1
Suelo	Claro	0.3
	Oscuro	0.1

Fuente: EDISON, Javier. Cálculo de instalaciones de alumbrado, p. 11.

Para el edificio T-3, se tomaron los índices de reflexión recomendados cuando no se conocen el valor de los mismos: 0.5 para el techo, 0.3 para las paredes y 0.1 para el suelo.

4.5. Cálculo del factor de utilización (η , CU)

A partir del índice del local y los factores de reflexión. Estos valores se encuentran tabulados y los suministran los fabricantes. En las tablas se encuentran para cada tipo de luminaria, los factores de iluminación en función de los coeficientes de reflexión y el índice del local. Si no se pueden obtener los factores por lectura directa será necesario interpolar.

Figura 20. Factor de utilización

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)								
		Factor de reflexión del techo								
		0.7			0.5			0.3		
		Factor de reflexión de las paredes								
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
	1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
	1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
	1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
	2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
	2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
	3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
	4	.56	.52	.47	.55	.52	.47	.55	.52	.47
	5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
	6	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60
	8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
	10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67

Fuente: EDISON, Javier. Calculo de instalaciones de alumbrado, p. 14.

En la figura se muestra cómo utilizar la tabla del factor de utilización a partir de los valores como los son; índice del local, factor de reflexión de las paredes y factor de reflexión del techo.

Ejemplo:

Índice del local (K) = 4

Factor de reflexión de las paredes = 0.3

Factor de reflexión del techo = 0.5

Factor de utilización = 0.56 obtenido de la tabla de la figura 20

Tabla XVI. **Factor de utilización (η) para el nivel cero**

Nivel 0	Índices del local (K)	Factor de utilización (η)
Cafetería	2.364	0.46
Reproducción	2.099	0.40
Tableros, bomba, baño	1.625	0.40
Sistemas	1.559	0.33
Escuela	1.559	0.33
Salón de proyecciones	2.261	0.46
Escuela civil	2.880	0.50
Salón 001	1.536	0.33
Salón 002	1.912	0.40
Gradas 1	1.150	0.33
Gradas 2	1.150	0.33
Pasillo para T1	0.571	0.22
Pasillo	1.102	0.33

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Factor de utilización (η) para el primer nivel**

Nivel 1	Índice del local (K)	Factor de utilización (η)
Informática	1.559	0.33
AEI	1.883	0.40
Fotocopiadora	0.980	0.22
Salón 104	1.062	0.22
Salón 105	1.883	0.40
Salón 106	1.022	0.22
Baño mujeres	0.770	0.22
Baño de hombres	1.418	0.33
Salón 109	2.099	0.40
Salón 110	2.099	0.40
Salón 111	1.883	0.40
Salón 112	1.883	0.40
Salón 113	1.559	0.33
Salón 114	1.897	0.40
Gradas 1	1.150	0.22
Clínica médica	0.752	0.22
Gradas 2	1.150	0.33
Odontología y psicología	1.008	0.22
Pasillo	1.102	0.33

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Factor de utilización (η) para el segundo nivel**

Nivel 2	Índice del local (K)	Factor de utilización (η)
Plaza Corea	2.364	0.46
Salón 204	1.062	0.22
Salón 205	1.022	0.22
Salón 206	1.883	0.40
Baño mujeres	0.770	0.22
Baño hombres	1.418	0.40
Salón 209	1.883	0.40
Salón 210	1.883	0.40
Salón 211	1.559	0.33
Salón 212	1.559	0.33
Salón 213	1.559	0.33
Salón 214	1.559	0.33
Gradas 1	1.150	0.33
Gradas 2	1.150	0.33
Asuntos estudiantiles	1.008	0.22
Pasillo	1.102	0.22

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Factor de utilización (η) para el tercer nivel**

Nivel 3	Índice del local (K)	Factor de utilización (η)
Laboratorio computación 1	1.883	0.40
Laboratorio computación 2	1.868	0.40
Salón 304	1.062	0.22
Salón 305	1.022	0.22
Salón 306	1.883	0.40
Baño mujeres	0.770	0.22
Baño hombres	1.418	0.40
Salón 309	1.883	0.40
Salón 310	2.253	0.46
Salón 311	1.559	0.33
Salón 312	1.559	0.33
Salón 313	1.559	0.33
Salón 314	1.559	0.33
Salón 315	1.897	0.40
Gradas 1	1.150	0.33
Gradas 2	1.150	0.33
Salón cultura y deporte	1.017	0.22
Pasillo	1.102	0.33

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Factor de utilización (η) para el cuarto nivel**

Nivel 4	Índice del local (K)	Factor de utilización (η)
Salón 402	2.364	0.46
Salón 403	1.062	0.22
Salón 404	2.099	0.40
Baño mujeres	0.770	0.22
Baño hombres	1.418	0.22
Salón 407	1.559	0.33
Centro tecnológico 1	1.559	0.33
Centro tecnológico 2	1.559	0.33
Salón 410	1.559	0.33
Salón 411	1.559	0.33
Salón 412	1.559	0.33
Salón 413	1.559	0.33
Salón 414	1.897	0.40
Grades 1	1.149	0.33
Gradas 2	1.149	0.33
Sae/sap	0.766	0.22
Pasillo	1.102	0.33

Fuente: elaboración propia.

4.6. Cálculo del factor de mantenimiento (f_m) o conservación de la instalación

Este coeficiente dependerá del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local. Para una limpieza periódica anual podemos tomar los siguientes valores:

Tabla XXI. Factor de mantenimiento

Factor de	
Ambiente	
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Fuente: EDISON, Javier. Cálculo de instalaciones de alumbrado, p. 14

Se tomará para el edificio T-3 un factor de mantenimiento (f_m) = 0.8, ya que este no se encuentra en ambiente de suciedad.

4.7. Cálculo del flujo luminoso total

Cálculo del flujo luminoso total necesario. Para ello se aplicará la fórmula

(5).

$$\Phi_r = \frac{E \cdot S}{\eta \cdot f_m} \quad (5)$$

Donde:

Φ es el flujo luminoso total

E es la iluminancia media deseada

S es la superficie del plano de trabajo

η es el factor de utilización

f_m es el factor de mantenimiento = 0.8

Tabla XXII. Flujo luminoso total para el nivel cero

Nivel 0	AREA (S)	Factor de utilización (n)	Iluminancia media deseada E	Flujo luminoso total Φ
Cafetería	149.04	0.46	100	40500.000
Reproducción	100.08	0.40	100	31275.000
Tableros, bomba, baño	108.72	0.40	150	50962.500
Sistemas	49.68	0.33	500	94090.909
Escuela	49.68	0.33	500	94090.909
Salón de proyecciones	126.72	0.46	500	172173.913
Escuela de Civil	180.96	0.50	500	226200.000
Salón 001	48.24	0.33	500	91363.636
Salón 002	77.76	0.40	500	121500.000
Gradas 1	47.61	0.33	150	27051.136
Gradas 2	47.61	0.33	150	27051.136
Pasillo para T1	16.2	0.22	100	9204.545
Pasillo	404.94	0.33	100	153386.364

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. Flujo luminoso total para el primer nivel

Nivel 1	AREA (S)	Factor de utilización (n)	Iluminancia media deseada E	Flujo Luminoso total Φ
Informática	49.68	0.33	500	94090.909
AEI	74.88	0.40	200	46800.000
Fotocopiadora	23.04	0.22	200	26181.818
Salón 104	25.92	0.22	500	73636.364
Salón 105	74.88	0.40	500	117000.000
Salón 106	24.48	0.22	500	69545.455
Baño mujeres	24.48	0.22	150	20863.636
Baño de hombres	74.88	0.33	150	42545.455
Salón 109	100.08	0.40	500	156375.000
Salón 110	100.08	0.40	500	156375.000
Salón 111	74.88	0.40	500	117000.000
Salón 112	74.88	0.40	500	117000.000
Salón 113	49.68	0.33	500	94090.909
Salón 114	76.32	0.40	500	119250.000
Gradas 1	47.61	0.22	150	40576.705
Clínica medica	11.56	0.22	200	13136.364
Gradas 2	47.61	0.33	150	27051.136
Odontología y psicología	23.46	0.22	200	26659.091
Pasillo	404.94	0.33	100	153386.364

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Flujo luminoso total para el segundo nivel**

Nivel 2	AREA (S)	Factor de utilización (n)	Iluminancia media deseada E	Flujo Luminoso total Φ
Plaza Corea	149.04	0.46	500	202500
Salón 204	25.92	0.22	500	73636.364
Salón 205	24.48	0.22	500	69545.455
Salón 206	74.88	0.4	500	117000
Baño mujeres	24.48	0.22	150	20863.636
Baño hombres	74.88	0.4	150	35100
Salón 209	74.88	0.4	500	117000
Salón 210	74.88	0.4	500	117000
Salón 211	49.68	0.33	500	94090.909
Salón 212	49.68	0.33	500	94090.909
Salón 213	49.68	0.33	500	94090.909
Salón 214	49.68	0.33	500	94090.909
Gradas 1	47.61	0.33	150	27051.136
Gradas 2	47.61	0.33	150	27051.136
Asuntos estudiantiles	23.46	0.22	200	26659.091
Pasillo	404.94	0.22	100	230079.545

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Flujo luminoso total para el tercer nivel**

Nivel 3	AREA (S)	Factor de utilización (n)	iluminancia media deseada E	Flujo Luminoso total Φ
Laboratorio computación 1	74.88	0.4	500	117000
Laboratorio computación 2	73.44	0.4	500	114750
Salón 304	25.92	0.22	500	73636.364
Salón 305	24.48	0.22	500	69545.455
Salón 306	74.88	0.4	500	117000
Baño mujeres	24.48	0.22	150	20863.636
Baño hombres	74.88	0.4	150	35100
Salón 309	74.88	0.4	500	117000
Salón 310	125.28	0.46	500	170217.391
Salón 311	49.68	0.33	500	94090.909
Salón 312	49.68	0.33	500	94090.909
Salón 313	49.68	0.33	500	94090.909
Salón 314	49.68	0.33	500	94090.909
Salón 315	76.32	0.4	500	119250
Gradas 1	47.61	0.33	150	27051.136
Gradas 2	47.61	0.33	150	27051.136
Salón cultura y deporte	24.14	0.22	200	27431.818

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. Flujo luminoso total para el cuarto nivel

Nivel 4	AREA (S)	Factor de utilización	iluminancia media deseada E	Flujo Luminoso total Φ
Salón 402	149.04	0.46	500	202500.000
Salón 403	25.92	0.22	500	73636.364
Salón 404	100.08	0.40	500	156375.000
Baño mujeres	24.48	0.22	150	20863.636
Baño hombres	74.88	0.22	150	63818.182
Salón 407	49.68	0.33	500	94090.909
Centro tecnológico 1	49.68	0.33	500	94090.909
Centro tecnológico 2	49.68	0.33	500	94090.909
Salón 410	49.68	0.33	500	94090.909
Salón 411	49.68	0.33	500	94090.909
Salón 412	49.68	0.33	500	94090.909
Salón 413	49.68	0.33	500	94090.909
Salón 414	76.32	0.40	500	119250.000
Gradas 1	47.541	0.33	150	27011.932
Gradas 2	47.541	0.33	150	27011.932
Sae/sap	24.14	0.22	200	27431.818
Pasillo	404.94	0.33	150	230079.545

Fuente: elaboración propia.

4.8. Cálculo del número de luminarias

Para el cálculo de luminarias se utilizará la formula:

$$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} \quad (6)$$

Redondeado por exceso

donde:

N es el número de luminarias

Φ_T es el flujo luminoso total

Φ_L es el flujo luminoso de una lámpara = 2184 lúmenes

n es el número de lámparas por luminaria = 4

Se hicieron diferentes cálculos y basados en los resultados se determinó que la mejor opción es utilizar 4 lámparas por luminaria, a fin de cumplir con los requerimientos solicitados en la norma IES, y para reducir las luminarias a utilizar por salón.

Tabla XXVII. **Número de luminarias para el nivel cero**

Nivel 0	Flujo luminoso total Φ	Número de luminarias
Cafetería	40500.000	4.636
Reproducción	31275.000	3.580
Tableros, bomba, baño	50962.500	5.834
Sistemas	94090.909	10.770
Escuela	94090.909	10.770
Salón de proyecciones	172173.913	19.709
Escuela de Civil	226200.000	25.893
Salón 001	91363.636	10.458
Salón 002	121500.000	13.908
Gradas 1	27051.136	3.097
Gradas 2	27051.136	3.097
Pasillo para T1	9204.545	1.054
Pasillo	153386.364	17.558

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Número de luminarias para el primer nivel**

Nivel 1	Flujo luminoso total Φ	Número de luminarias
Informática	94090.909	10.770
Aei	46800.000	5.357
Fotocopiadora	26181.818	2.997
Salón 104	73636.364	8.429
Salón 105	117000.000	13.393
Salón 106	69545.455	7.961
Baño mujeres	20863.636	2.388
Baño de hombres	42545.455	4.870
Salón 109	156375.000	17.900
Salón 110	156375.000	17.900
Salón 111	117000.000	13.393
Salón 112	117000.000	13.393
Salón 113	94090.909	10.770
Salón 114	119250.000	13.650
Gradas 1	40576.705	4.645
Clínica médica	13136.364	1.504
Gradas 2	27051.136	3.097
Odontología y psicología	26659.091	3.052
Pasillo	153386.364	17.558

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Número de luminarias para el segundo nivel**

Nivel 2	Flujo luminoso total Φ	Número de luminarias
Plaza Corea	202500.000	23.180
Salón 204	73636.364	8.429
Salón 205	69545.455	7.961
Salón 206	117000.000	13.393
Baño mujeres	20863.636	2.388
Baño hombres	35100.000	4.018
Salón 209	117000.000	13.393
Salón 210	117000.000	13.393
Salón 211	94090.909	10.770
Salón 212	94090.909	10.770
Salón 213	94090.909	10.770
Salón 214	94090.909	10.770
Gradas 1	27051.136	3.097
Gradas 2	27051.136	3.097
Asuntos estudiantiles	26659.091	3.052
Pasillo	230079.545	26.337

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Número de luminarias para el tercer nivel**

Nivel 3	Flujo luminoso total Φ	Número de luminarias
Laboratorio computación 1	117000.000	13.393
Laboratorio computación 2	114750.000	13.135
Salón 304	73636.364	8.429
Salón 305	69545.455	7.961
Salón 306	117000.000	13.393
Baño mujeres	20863.636	2.388
Baño hombres	35100.000	4.018
Salón 309	117000.000	13.393
Salón 310	170217.391	19.485
Salón 311	94090.909	10.770
Salón 312	94090.909	10.770
Salón 313	94090.909	10.770
Salón 314	94090.909	10.770
Salón 315	119250.000	13.650
Gradas 1	27051.136	3.097
Gradas 2	27051.136	3.097
Salón cultura y deporte	27431.818	3.140
Pasillo	153386.364	17.558

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Número de luminarias para el cuarto nivel**

Nivel 4	Flujo luminoso total Φ	Número de luminarias
Salón 402	202500.000	23.180
Salón 403	73636.364	8.429
Salón 404	156375.000	17.900
Baño mujeres	20863.636	2.388
Baño hombres	63818.182	7.305
Salón 407	94090.909	10.770
Centro tecnológico 1	94090.909	10.770
Centro tecnológico 2	94090.909	10.770
Salón 410	94090.909	10.770
Salón 411	94090.909	10.770
Salón 412	94090.909	10.770
Salón 413	94090.909	10.770
Salón 414	119250.000	13.650
Gradas 1	27011.932	3.092
Gradas 2	27011.932	3.092
Sae/sap	27431.818	3.140
Pasillo	230079.545	26.337

Fuente: elaboración propia.

4.9. Localización de las luminarias

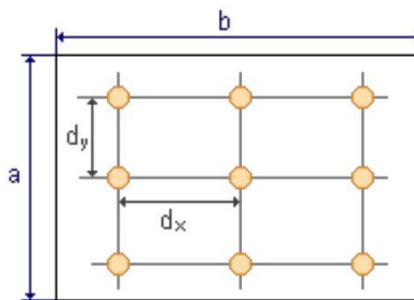
Una vez se ha calculado el número mínimo de lámparas y luminarias se procederá a distribuir las sobre la planta de los salones. En los salones de planta rectangular las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local según las fórmulas:

Figura 21. **Número de luminarias a lo largo y ancho**

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{Total}}}{\text{largo}}} \times \text{ancho}$$

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} \times \left(\frac{\text{largo}}{\text{ancho}} \right)$$

donde N es el número de luminarias



Fuente: EDISON, Javier. Cálculo de instalaciones de alumbrado, p. 17

Tabla XXXII. **Número de luminarias a lo largo y ancho para los salones del nivel cero**

NIVEL 0	a (largo)	b (ancho)	Número de luminarias	N ancho	N largo
Cafetería	20.7	7.2	4.636	1.26984956	3.6508175
Reproducción	13.9	7.2	3.580	1.36176195	2.6289571
Tableros, bomba, baño	15.1	7.2	5.834	1.66781096	3.49777021
Sistemas	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Escuela	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Salón de proyecciones	17.6	7.2	19.709	2.83946995	6.94092654
Escuela de Civil	17.4	10.4	25.893	3.93397896	6.58184942
Salón 001	6.7	7.2	10.458	3.35242617	3.1196188
Salón 002	10.8	7.2	13.908	3.04499229	4.56748843
Gradas 1	6.9	6.9	3.097	1.75969113	1.75969113
Gradas 2	6.9	6.9	3.097	1.75969113	1.75969113
Pasillo para T1	2.25	7.2	1.054	1.83619944	0.57381232
Pasillo	119.1	3.4	17.558	0.70797943	24.800103

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Número de luminarias a lo largo y ancho para los salones del primer nivel**

Nivel 1	A	b	Número de luminarias	N ancho	N largo
Informática	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Aei	10.4	7.2	5.357	1.92582222	2.7817432
Fotocopiadora	3.2	7.2	2.997	2.59677815	1.15412362
Salón 104	3.6	7.2	8.429	4.10586676	2.05293338
Salón 105	10.4	7.2	13.393	3.04499229	4.39832219
Salón 106	3.4	7.2	7.961	4.10586676	1.93888153
Baño de mujeres	3.4	7.2	2.388	2.24887584	1.06196915
Baño de hombres	10.4	7.2	4.870	1.83619944	2.65228808
Salón 109	13.9	7.2	17.900	3.04499229	5.87852677
Salón 110	13.9	7.2	17.900	3.04499229	5.87852677
Salón 111	10.4	7.2	13.393	3.04499229	4.39832219
Salón 112	10.4	7.2	13.393	3.04499229	4.39832219
Salón 113	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Salón 114	10.6	7.2	13.650	3.04499229	4.48290531
Gradas 1	6.9	6.9	4.645	2.15517268	2.15517268
Clínica médica	3.4	3.4	1.504	1.22625635	1.22625635
Gradas 2	6.9	6.9	3.097	1.75969113	1.75969113
Odontología y psicología	6.9	3.4	3.052	1.22625635	2.48857906
Pasillo	119.1	3.4	17.558	0.70797943	24.800103

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Número de luminarias a lo largo y ancho para los salones del segundo nivel**

Nivel 2	A	B	Número de luminarias	N ancho	N largo
Plaza Corea	20.7	7.2	23.180	2.83946995	8.1634761
Salón 204	3.6	7.2	8.429	4.10586676	2.05293338
Salón 205	3.4	7.2	7.961	4.10586676	1.93888153
Salón 206	10.4	7.2	13.393	3.04499229	4.39832219
Baño mujeres	3.4	7.2	2.388	2.24887584	1.06196915
Baño hombres	10.4	7.2	4.018	1.66781096	2.40906028
Salón 209	10.4	7.2	13.393	3.04499229	4.39832219
Salón 210	10.4	7.2	13.393	3.04499229	4.39832219
Salón 211	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Salón 212	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Salón 213	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Salón 214	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Gradas 1	6.9	6.9	3.097	1.75969113	1.75969113
Gradas 2	6.9	6.9	3.097	1.75969113	1.75969113
Asuntos estudiantiles	6.9	3.4	3.052	1.22625635	2.48857906
Pasillo	119.1	3.4	26.337	0.86709418	30.373799

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Número de luminarias a lo largo y ancho para los salones del tercer nivel**

Nivel 3	A	b	Número de luminarias	N ancho	N largo
Laboratorio computación 1	10.4	7.2	13.393	3.04499229	4.39832219
Laboratorio computación 2	10.2	7.2	13.135	3.04499229	4.31373907
Salón 304	3.6	7.2	8.429	4.10586676	2.05293338
Salón 305	3.4	7.2	7.961	4.10586676	1.93888153
Salón 306	10.4	7.2	13.393	3.04499229	4.39832219
Baño mujeres	3.4	7.2	2.388	2.24887584	1.06196915
Baño hombres	10.4	7.2	4.018	1.66781096	2.40906028
Salón 309	10.4	7.2	13.393	3.04499229	4.39832219
Salón 310	17.4	7.2	19.485	2.83946995	6.86205237
Salón 311	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Salón 312	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Salón 313	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Salón 314	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Salón 315	10.6	7.2	13.650	3.04499229	4.48290531
Gradas 1	6.9	6.9	3.097	1.75969113	1.75969113
Gradas 2	6.9	6.9	3.097	1.75969113	1.75969113
Salón cultura y deporte	7.1	3.4	3.140	1.22625635	2.56071178
Pasillo	119.1	3.4	17.558	0.70797943	24.800103

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. Número de luminarias a lo largo y ancho para los salones del cuarto nivel

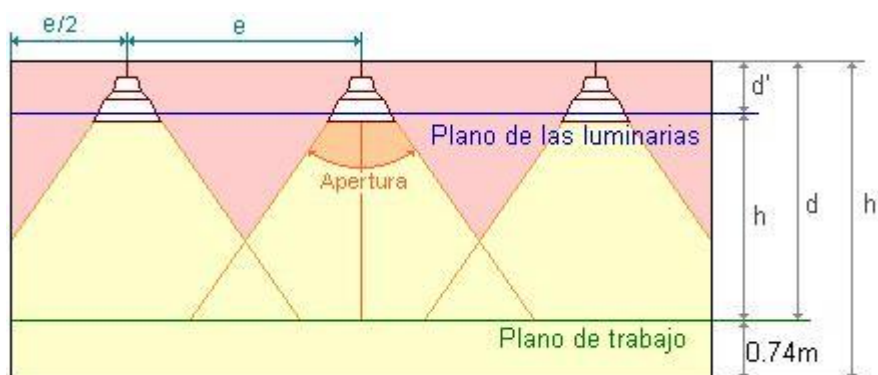
Nivel 4	A	B	Número de luminarias	N ancho	N largo
Salón 402	20.7	7.2	23.180	2.83946995	8.1634761
Salón 403	3.6	7.2	8.429	4.10586676	2.05293338
Salón 404	13.9	7.2	17.900	3.04499229	5.87852677
Baño mujeres	3.4	7.2	2.388	2.24887584	1.06196915
Baño hombres	10.4	7.2	7.305	2.24887584	3.24837622
Salón 407	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Centro tecnológico 1	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Centro tecnológico 2	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Salón 410	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Salón 411	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Salón 412	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Salón 413	6.9	7.2	10.770	3.35242617	3.21274175
Salón 414	10.6	7.2	13.650	3.04499229	4.48290531
Gradas 1	6.9	6.89	3.092	1.75714085	1.75969113
Gradas 2	6.9	6.89	3.092	1.75714085	1.75969113
Sae/sap	7.1	3.4	3.140	1.22625635	2.56071178
Pasillo	119.1	3.4	26.337	0.86709418	30.373799

Fuente: elaboración propia.

4.10. Cálculo de la distancia máxima de separación entre las luminarias

Dependerá del ángulo de apertura del haz de luz y de la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo. Ver mejor con un dibujo:

Figura 22. **Ángulo de apertura del haz**



Fuente: EDISON, Javier. Cálculo de instalaciones de alumbrado, p. 13.

Como puede verse fácilmente, mientras más abierto sea el haz y mayor la altura de la luminaria más superficie iluminará, aunque será menor el nivel de iluminancia que llegará al plano de trabajo tal y como dice la ley inversa de los cuadrados. De la misma manera, se ve que las luminarias próximas a la pared necesitan estar más cerca para iluminarla (normalmente la mitad de la distancia). Las conclusiones sobre la separación entre las luminarias las podemos resumir como sigue:

Tabla XXXVII. **Resumen sobre la separación entre luminarias**

Tipo de luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
Intensiva	> 10 m	e 1.2 h
Extensiva	6 - 10 m	e 1.5 h
Semiextensiva	4 - 6 m	
Extensiva	4 m	e 1.6 h
distancia pared-luminaria: e/2		

Fuente: EDISON, Javier. Calculo de instalaciones de alumbrado, p. 14

Si después de calcular la posición de las luminarias se encuentra que la distancia de separación es mayor que la distancia máxima admitida, quiere decir que la distribución luminosa obtenida no es del todo uniforme. Esto puede deberse a que la potencia de las lámparas escogida sea excesiva. En estos casos conviene rehacer los cálculos probando usar lámparas menos potentes, más luminarias o emplear luminarias con menos lámparas.

4.11. Comprobación de los resultados

Por último, queda comprobar la validez de los resultados mirando si la iluminancia media obtenida en la instalación diseñada es igual o superior a la recomendada en las tablas.

$$E_m = \frac{n \cdot \Phi_L \cdot \eta \cdot f_m}{S} \geq E_{\text{tablas}} \quad (7)$$

Donde:

n = Número de lamparas por luminaria (4)

Φ_L = flujo luminoso por lampara (2184 lumenes)

η = Factor de utilización

S = area

F_m = factor de mantenimiento (0.8)

Tabla XXXVIII. **Comprobación de resultados para el nivel cero**

Nivel 0	AREA (S)	Factor de utilización (n)	Iluminancia media deseada E	Número de luminarias	Comprobación de resultados
Cafetería	149.04	0.46	100	5	107.85
Reproducción	100.08	0.40	100	4	111.73
Tableros, bomba, baño	108.72	0.40	150	6	154.28
Sistemas	49.68	0.33	500	11	510.66
Escuela	49.68	0.33	500	11	510.66
Salón de proyecciones	126.72	0.46	500	20	507.39
Escuela de civil	180.96	0.50	500	26	502.07
Salón 001	48.24	0.33	500	10	478.09
Salón 002	77.76	0.40	500	14	503.31
Gradas 1	47.61	0.33	150	3	145.32
Gradas 2	47.61	0.33	150	3	145.32
Pasillo para T1	16.2	0.22	100	1	94.91
Pasillo	404.94	0.33	100	18	102.52

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Comprobación de resultados para el primer nivel**

Nivel 1	AREA (S)	Factor de utilización (n)	Iluminancia media deseada E	Número de luminarias	Comprobación de resultados
Informática	49.68	0.33	500	11	510.66
Área	74.88	0.40	200	5	186.67
Fotocopiadora	23.04	0.22	200	3	200.20
Salón 104	25.92	0.22	500	8	474.55
Salón 105	74.88	0.40	500	13	485.33
Salón 106	24.48	0.22	500	8	502.46
Baño mujeres	24.48	0.22	150	2	125.62
Baño de hombres	74.88	0.33	150	5	154.00
Salón 109	100.08	0.40	500	18	502.79
Salón 110	100.08	0.40	500	18	502.79
Salón 111	74.88	0.40	500	13	485.33
Salón 112	74.88	0.40	500	13	485.33
Salón 113	49.68	0.33	500	11	510.66
Salón 114	76.32	0.40	500	14	512.81
Gradas 1	47.61	0.22	150	5	161.47
Clínica medica	11.56	0.22	200	2	266.01
Gradas 2	47.61	0.33	150	3.097	145.32
Odontología y psicología	23.46	0.22	200	3.052	196.62
Pasillo	404.94	0.33	100	17.558	102.52

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Comprobación de resultados para el segundo nivel**

Nivel 2	AREA (S)	Factor de utilización (n)	Iluminancia media deseada E	Número de luminarias	Comprobación de resultados
Plaza Corea	149.04	0.46	500	23	496.12
Salón 204	25.92	0.22	500	8	474.55
Salón 205	24.48	0.22	500	8	502.46
Salón 206	74.88	0.40	500	13	485.33
Baño mujeres	24.48	0.22	150	2	125.62
Baño hombres	74.88	0.40	150	4	149.33
Salón 209	74.88	0.40	500	13	485.33
Salón 210	74.88	0.40	500	13	485.33
Salón 211	49.68	0.33	500	11	510.66
Salón 212	49.68	0.33	500	11	510.66
Salón 213	49.68	0.33	500	11	510.66
Salón 214	49.68	0.33	500	11	510.66
Gradas 1	47.61	0.33	150	3	145.32
Gradas 2	47.61	0.33	150	3	145.32
Asuntos estudiantiles	23.46	0.22	200	3	196.62
Pasillo	404.94	0.22	100	26	98.72

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Comprobación de resultados para el tercer nivel**

Nivel 3	AREA (S)	Factor de utilización (n)	Iluminancia media deseada E	Número de luminarias	Comprobación de resultados
Laboratorio computación 1	74.88	0.40	500	13	485.33
Laboratorio computación 2	73.44	0.40	500	13	494.85
Salón 304	25.92	0.22	500	8	474.55
Salón 305	24.48	0.22	500	8	502.46
Salón 306	74.88	0.40	500	13	485.33
Baño mujeres	24.48	0.22	150	2	125.62
Baño hombres	74.88	0.40	150	4	149.33
Salón 309	74.88	0.40	500	13	485.33
Salón 310	125.28	0.46	500	19	487.56
Salón 311	49.68	0.33	500	11	510.66
Salón 312	49.68	0.33	500	11	510.66
Salón 313	49.68	0.33	500	11	510.66
Salón 314	49.68	0.33	500	11	510.66
Salón 315	76.32	0.40	500	14	512.81
Gradas 1	47.61	0.33	150	3	145.32
Gradas 2	47.61	0.33	150	3	145.32
Salón cultura y deporte	24.14	0.22	200	3	191.08
Pasillo	404.94	0.33	100	18	102.52

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Comprobación de resultados para el cuarto nivel**

nivel 4	AREA (S)	Factor de utilización	Iluminancia media deseada E	Número de luminarias	Comprobación de resultados
Salón 402	149.04	0.46	500	23	496.12
Salón 403	25.92	0.22	500	8	474.55
Salón 404	100.08	0.40	500	18	502.79
Baño mujeres	24.48	0.22	150	2	125.62
Baño hombres	74.88	0.22	150	7	143.73
Salón 407	49.68	0.33	500	11	510.66
Centro tecnológico 1	49.68	0.33	500	11	510.66
Centro tecnológico 2	49.68	0.33	500	11	510.66
Salón 410	49.68	0.33	500	11	510.66
Salón 411	49.68	0.33	500	11	510.66
Salón 412	49.68	0.33	500	11	510.66
Salón 413	49.68	0.33	500	11	510.66
Salón 414	76.32	0.40	500	14	512.81
Gradas 1	47.541	0.33	150	3	145.54
Gradas 2	47.541	0.33	150	3	145.54
Sae/sap	24.14	0.22	200	3	191.08
Pasillo	404.94	0.33	150	26	148.08

Fuente: elaboración propia.

Resultados:

La iluminancia media obtenida (E_m) es bastante aproximada a la de diseño, según la comprobación establecida con la formula número 7.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

En el estudio económico se consideran todos los rubros necesarios para establecer la inversión inicial y los costos operativos. Con esta información se facilita la elaboración del estado de ingresos y egresos proyectados para este sistema de iluminación.

La lámpara led tiene un precio elevado, por ser una nueva tecnología y por ser importadas.

- Costo nominal de una lámpara led

$$C_{\text{led}} = \text{Q. } 489.99$$

Costo nominal de una luminaria led

$L_{\text{led}} = n * C_{\text{led}} + \text{lámpara (cuatro lámparas)}$ (7) $n = 4$ numero de lámparas por luminaria

$$L_{\text{led}} = 4 * \text{Q. } 489.99 + \text{Q. } 359.99 = \text{Q. } 2,319.95$$

- Costo nominal de todas las luminarias

$$C_t = L_{\text{led}} * L_t \quad (8)$$

$$L_{\text{led}} = \text{Q. } 2,319.95$$

L_t (total de luminarias) = 830

$$C_t = 830 * \text{Q. } 2,319.95 = \text{Q. } 1, 925,558.5$$

- Costo por de instalación de un sistema led

Como se analiza un edificio con un sistema de iluminación fluorescente implementado, el costo por instalar el nuevo sistema incluye los costos (CI) por instalar las lámparas led y eliminación de los balastros.

Costo por instalación de luminaria

CI = Q. 80.00

Costo total por instalación

$C_{it} = L_t * CI$ $C_{it} = 830 * Q.80.00 = Q.66, 400.00$

5.1. Costo de cableado por puntos adicionales de instalación

Los costos del cableado de los puntos adicionales se resumen en la tabla.

Tabla XLIII. **Costo por cableado de luminarias adicionales a las existentes en el julio padilla de la Universidad Nacional de Ingeniería T-3**

NIVEL	Puntos existentes de luminarias FL	Puntos nuevos de luminarias led	Luminaras adicionales	Promedio de mts. por luminaria adicional	Mts. De cable No. 12	Costo x metro de cable No. 12	Costo total de cable adicional por nivel
CERO	112	132	20	8	160	Q3.420	Q547.20
UNO	110	173	63	8	504	Q3.420	Q1,723.68
DOS	106	163	57	8	456	Q3.420	Q1,559.52
TRES	110	178	68	8	544	Q3.420	Q1,860.48
CUATRO	106	184	78	8	624	Q3.420	Q2,134.08
TOTAL	544	830	286		2288	Q3.420	Q7,824.96

Fuente: elaboración propia.

Puntos existentes de luminarias fluorescentes = 544

- Puntos nuevos de luminarias led = 830
- Luminarias Adicionales: $830 - 544 = 286$
- Costo de cable calibre No. 12 = Q. 3.42
- Promedio de cable adicional por Luminaria: 8 mts.
- Total de metros para luminarias adicionales: $8 * 286 = 2288$ mts.

Costo total de cable para luminarias adicionales a las existentes:

$C_{\text{cable}} = \text{Cantidad de cable No. 12 en mts} \times \text{Precio de cable en quetzales}$

$$C_{\text{cable}} = 2288 \text{ mts} * Q. 3.42 = Q. 7,824.96$$

Costo total de las luminarias led

$$C_{\text{tled}} = Q. 1,925,558.5 + Q. 66,400 + Q. 7,824.96 = Q. 1,999,783.46$$

5.2. Costo por año del consumo de energía

Los costos de consumo de energía anuales se calculan como sigue:

- Horas al año del Consumo de Energía del edificio julio padilla de la Universidad Nacional de Ingeniería

Las horas de consumo de energía por año laboral son tomadas de la siguiente tabla:

Tabla XLIV. **Horas/año de consumo de energía del T-3**

Hrs. tarde-noche 17:00 a 22:00	Hrs. mañana 05:30 a 7:30	Año (días)	Total horas año
5	2	360	2520

Fuente: elaboración propia.

Donde el total de horas que se mantiene encendida una luminara resulta de la sumatoria de horas encendida en la mañana mas las horas encendidas en la tarde-noche = 7hrs.

Donde el total de horas se calcula como sigue:

$$7\text{hrs/día} * 360 \text{ día/año} = 2520 \text{ hrs./año} \quad (10)$$

De la formulación se calcula que el sistema fluorescente instalado equivale a:

$$2520 \text{ hrs./año}$$

5.2.1. Energía consumida al año en el edificio con el sistema fluorescente existente

Se harán cálculos de la energía consumida anualmente en el edificio T-3 con el sistema de iluminación existente.

Número de luminarias (nL): 544

Lámparas por luminaria (nLI) = 4

$$\text{Consumo por luminaria} = nL * \text{pot.} \quad (11)$$

$$\text{Consumo por luminaria} = 4 * 32W = 0.128Kw$$

Horas por año: 2520 hrs./año

$$\text{Energía total año: } nL * nL * \text{Pot} * 2520 \quad (12)$$

$$544 * 4 * 32 * 2520 = 175,472.64 \text{ kwh/año}$$

Costo promedio que cobra EEGSA por Kwh = Q. 1.70kwh

$$\text{Costo anual: } Q. 1.70 * 175,472.64 = Q. 298,303.48$$

5.2.2. Energía consumida al año en el edificio con el sistema led

Se harán cálculos de la energía consumida anualmente utilizando el sistema de iluminación led.

Número de luminarias (nL): 830

De la formula (11)

$$\text{Lámparas por luminaria} = 4 * 18W = 0.072KW$$

Horas por año: 2520 hrs/año

De la formula (12)

$$\text{Energía total año: } 830 * 4 * 18 * 2520 = 150,595.2 \text{ kwh/año}$$

Costo promedio que cobra EEGSA por Kwh = Q. 1.70kwh

$$\text{Costo anual: } Q. 1.70 * 150,595.2 = Q. 256,011.84$$

5.3. Resumen del análisis técnico económico de los sistemas de iluminación para el edificio

En la tabla XLV se resumen los dos sistemas de iluminación planteados en este estudio, haciendo una comparación técnica y económica.

Tabla XLV. **Resumen análisis técnico económico de los dos sistemas de iluminación**

Información general	Sistemas de iluminación fluorescente	Sistemas de iluminación led T-8
Datos de instalación	Luminarias con lámparas fluorescentes T-8	Luminarias con lámparas led T-8
Número de luminarias	544	830
Lámparas por luminaria	4	4
Potencia de c/sistema (incluyendo accesorios) (W)	128	72
Potencia total consumida del sistema (W)	69632	59760
Iluminancia mantenida (lúmenes)	II	XXV – XXIX
Cálculo del costo completo		
Inversión		
Costo por un sistema instalado (\$)	0	Q. 1,925,558.5
Costo de cableado por sistema adicional instalado	0	Q. 7,824.96
Costo (un sistema instalado + cableado)(\$)	0	Q. 66,400

Continuación tabla XLV.

Inversión total	0	Q. 1,999,783.46
Costos de energía		
Horas laborales /año (H/año)	2520	2520
Energía consumida (Kwh/año)	175,472.64 kwh/año	150,595.2 kwh/año
Costo del Kwh (\$/Kwh.)	Q. 1.70	Q. 1.70
Costo energía (\$/año)	Q. 298,303.48	Q. 256,011.84
Horas de uso por año de todas las lámparas	1,370,880	2,091,600
Vida nominal lámpara	13,000hrs	50,000hrs
Recapitulación		
Costo de la inversión	0	Q. 1,999,783.46
Costo por año de la energía	Q. 298,303.48	Q. 256,011.84
Ahorro anual implementando el sistema led		Q. 42,291.64
% De ahorro en facturación		14%

Fuente: elaboración propia.

En la tabla se detalla un resumen categorico, utilizando los datos recopilados en el análisis económico.

Del estudio técnico – económico se determina que es factible el mejoramiento de la iluminación del edificio T-3 mediante la aplicación de luminarias led, este mejoramiento requiere de una inversión inicial grande, debido a que las lámparas led todavía se cotizan aun precio elevado en el mercado.

Se debe recordar que con esta inversión se mejoran los niveles de iluminación a los niveles óptimos recomendados según IES (Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Norte América) y Según la Norma Europea sobre la Iluminación para Interiores (UNE 12464-1).

Para las diferentes áreas de trabajo del edificio T-3, los niveles de iluminación actuales del edificio son deficientes en todas las áreas de trabajo. Al mejorar la iluminación se obtendrán beneficios tanto para el estudiante, catedrático e incluso para el propio edificio como se vio con anterioridad.

Con el cambio a luminarias led se obtiene un ahorro en consumo de energía eléctrica equivalente a 24,877.44 kwh/año, traducido en dinero representa un ahorro monetario anual de Q 42,291.65, para el edificio solo por concepto de iluminación.

Con el cambio a luminarias led se colabora con el medio ambiente ya que los led están fabricadas con materiales no tóxicos a diferencia de las lámparas fluorescentes con el mercurio que contienen y que plantean un peligro de contaminación. Los led pueden ser totalmente reciclados.

CONCLUSIONES

1. El sistema de lámpara fluorescente actual es ineficiente ya que su aplicación en los lugares de trabajo no proporciona los niveles recomendados según las normas americanas.
2. En el presente trabajo de graduación, se determinó que los niveles de iluminación óptimos recomendados para las áreas de trabajo, según normas americanas son: en salones de estudio 500 lux, pasillos 100 lux, gradas 150 lux y oficinas 200 lux.
3. Con la implementación de luminarias led se mejora la iluminación de las distintas áreas del edificio julio padilla de la Universidad Nacional de Ingeniería, logrando llegar a los niveles recomendados por las normas IES (Sociedad de Ingenieros Eléctricos de Norte América).
4. Las lámparas led se destacan de las fluorescentes, porque son más direccionales y con una eficiencia del sistema mayor que las fluorescentes.
5. El rendimiento y vida útil de las lámparas led es mucho mayor que las lámparas fluorescentes.
6. Las lámparas led tienen un mayor ahorro energético que las fluorescentes, pues el sistema led consume la mitad de energía eléctrica utilizada por el sistema fluorescente.

7. Para el diseño propuesto del edificio, se necesitan 830 luminarias led para alcanzar la iluminancia media deseada, teniendo un costo de C\$ 1,803,948.80
8. Con la implementación del este sistema de iluminación led se obtendrá un ahorro de C\$ 42,291.65 anuales, lo que representa un ahorro de energía eléctrica del 14% anualmente.
9. Con los costos en aumento de la energía eléctrica beneficiaría a la Facultad de Ingeniería la sustitución de las luminarias fluorescentes existentes por luminarias led, ya que estas presentan mayor eficiencia y menor potencia.
10. Con la implementación de luminarias led se colabora con el medio ambiente, ya que estas están fabricadas con materiales no tóxicos y reciclables.

RECOMENDACIONES

1. Es indispensable elevar los niveles de iluminación del edificio ya sea con luminarias led o complementando las luminarias fluorescentes existentes ya que la iluminación actual es deficiente.
2. Al momento de realizar un estudio de iluminación es aconsejable separar las diferentes áreas de trabajo ya que para cada área específica la IES recomienda diferentes niveles de iluminación.
3. Para realizar un estudio de comparación de iluminación entre dos tecnologías de luminarias diferentes es necesario que esté basado en el mismo nivel de iluminación.
4. Es conveniente solicitar al proveedor la ficha técnica o *data sheet* que contenga las especificaciones de las lámparas led a utilizar, y verificar los de lúmenes que ofrece por cada una, ya que algunas lámparas led presentan baja eficiencia lumínica.

BIBLIOGRAFIA

1. Comisión de la Normalización Europea. *Norma europea sobre iluminación para interiores*. UNE 12464.1. España: PHILIPS, 2002. 31 p.
2. CZAJKOWSKI D., Jorge. *Luminotecnica e iluminación artificial*. Mexico: CIE, 2006. 21 p.
3. GUASH FARRAS, Juan. *Enciclopedia OIT de salud y seguridad en el trabajo* (1-2-2008) [en línea]. [ref. 01 de agosto de 2011]. Disponible en Web: <http://www.mtas.es/insht/EncOIT/pdf/tomo2/46.pdf>.
4. IALA. *Tecnología led y su uso en luces de señalización*. IALA Guideline No.1048. New York: Pidos, 2005. 15 p.
5. IESNA. *Memorandum on Light Emitting Diode (led) sources and systems*. New york: IESNA TM-16-05, 2005. 20 p.
6. Iluminación Artificial de Interiores. *Características. Uniformidad de iluminación*. Norma IRRAMAADL J20 05. Argentina: IRRAMAADL, 1995. 36 p.
7. INDALUX. *Magnitudes luminosas, Luminotecnica*. México: IVES, 2002. 86 p.

8. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo NTP211.
Iluminación en los centros de trabajo. [en línea]. España
5-2-2008). ref.22 de agosto de 2011]. Disponible en Web:
http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_211.htm
9. KIRSCHBAUM, Carlos. *Diseño de la iluminación de interiores.* Inglaterra:
UNT, 1995. 36 p.
10. PHILIPS. *Sector Residencial y Terciario: Guía técnica de
iluminación eficiente.* España: CEIT, 2006. 57 p.

ANEXOS

Tubo led, Modelo 1

Voltaje de funcionamiento: 80-120VAC o 165-245VAC

Total: 328 y 164 luces led

Potencia lumínica: 1350 lm

Temperatura ambiente: -40 ~ 60 grados C

Consumo de energía: 15 W

Diámetro: 3 cm, longitud: 120 cm

Puede ser colocado directamente en soportes de tubos fluorescentes convencionales T8

Temperatura de color: 6000K ~ 6500K, 4000K ~ 4500K, 3000K ~ 3500K

Robusta, resistente a golpes y vibraciones Ninguna interferencia del RF

Tubo led modelo 1



Fuente: image.made-in-china.com/LED-Tube-T8.jpg

Tubo led, Modelo 2

Voltaje de funcionamiento: 85-265VAC

Potencia lumínica: 280 lm

Temperatura ambiente: -20 ~ 40 grados C

Consumo de energía: 4,5 W

Diámetro: 1,6 cm, longitud: 50 cm

Puede ser colocado directamente en soportes de tubos
fluorescentes convencionales T5

Temperatura de color: 6000K ~ 6500K, 4000K ~ 4500K, 3000K ~ 3500K

Tubo led modelo 2



Fuente: image.made-in-china.com/LED-Tube-T8.jpg

Tubo led, Modelo 3

Cada tubo dispone de conector macho y hembra

Potencia lumínica: 280 lm

24 luces led de triple chip

Temperatura ambiente: -20 ~ 40 grados C

Consumo de energía: 4,5 W

Diámetro: 1,6 cm, longitud: 50 cm

Puede ser colocado directamente en soportes de tubos fluorescentes convencionales T5

Temperatura de color: 6000K ~ 6500K, 4000K ~ 4500K, 3000K ~ 3500K

Robusta, resistente a golpes y vibraciones

Tubo led modelo 3



Fuente: image.made-in-china.com/LED-Tube-T8.jpg

Tubo led, Modelo 4

Voltaje de funcionamiento: 90-264VAC

Total: 100 y 200 luces led

Potencia lumínica: 1500 lm

Temperatura ambiente: -40 ~ 60 grados C

Consumo de energía: 122 W

Diámetro: 2,54 cm, longitud: 60/120/150 cm

Puede ser colocado directamente en soportes de tubos fluorescentes convencionales T8

Temperatura de color: 6000K ~ 6500K, 4000K ~ 4500K, 3000K ~ 3500K Robusta, resistente a golpes y vibraciones Ninguna interferencia del RF

Tubo led modelo 4



Fuente: image.made-in-china.com/LED-Tube-T8.jpg